BREVES RESPUESTAS A LAS GRANDES PREGUNTAS

STEPHEN HAWKING

CRÍTICA

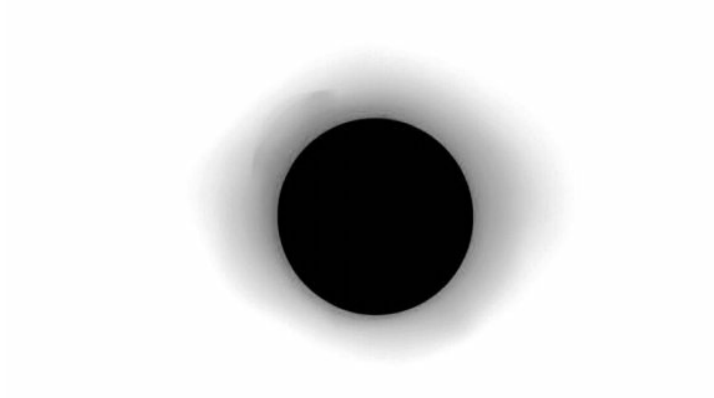
Índice

Explora Descubre Comparte

Sinopsis

Stephen Hawking fue reconocido como una de las mentes más brillantes de nuestro tiempo y una figura de inspiración después de desafiar su diagnóstico de ELA a la edad de veintiún años. Es conocido tanto por sus avances en física teórica como por su capacidad para hacer accesibles para todos conceptos complejos y destacó por su travieso sentido del humor. En el momento de su muerte, Hawking estaba trabajando en un proyecto final: un libro que compilaba sus respuestas a las «grandes» preguntas que a menudo se le planteaban: preguntas que iban más allá del campo académico. Dentro de estas páginas, ofrece su punto de vista personal sobre nuestros mayores desafíos como raza humana, y hacia dónde, como planeta, nos dirigimos después. Cada sección será presentada por un pensador líder que ofrecerá su propia visión de la contribución del profesor Hawking a nuestro entendimiento.

BREVES RESPUESTAS A LAS GRANDES PREGUNTAS



STEPHEN HAWKING

Traducción: David Jou Mirabent

Catedrático de Física de la Materia Condensada de la Universitat Autònoma de Barcelona

CRÍTICA

BARCELONA

Nota del editor

Muchos científicos, emprendedores, figuras relevantes del mundo de los negocios, líderes políticos y el público en general preguntaban regularmente a Stephen Hawking por sus pensamientos, comentarios y especulaciones acerca de las «grandes preguntas». Stephen conservaba un archivo personal enorme sobre sus respuestas, en forma de conferencias, entrevistas, ensayos y respuestas a preguntas concretas.

Este libro —que se hallaba en curso de desarrollo en el momento en que Stephen murió— se nutre de dicho archivo personal. Ha sido completado en colaboración con sus colegas académicos, su familia y la administración del legado de Stephen Hawking (Stephen Hawking Estate).

Un porcentaje de los derechos de autor del libro será destinado a caridad.

Prólogo
Eddie Redmayne

La primera vez que me encontré con Stephen Hawking quedé impresionado por su extraordinario poder y su vulnerabilidad. La mirada decidida de sus ojos incrustada en su cuerpo inmóvil me resultaba familiar por mi investigación: hacía poco que me había comprometido a desempeñar el papel de Stephen en el film La teoría del todo y pasé varios meses estudiando su trabajo y la naturaleza de su discapacidad, tratando de entender cómo expresar con mi cuerpo la evolución de la enfermedad motora neuronal con el paso del tiempo.

Y, sin embargo, cuando finalmente conocí a Stephen, el icono, ese científico de talento fenomenal, cuya gran capacidad de comunicación reside en una voz sintetizada por ordenador junto con un par de cejas excepcionalmente expresivas, me quedé impresionado. Tiendo a ponerme nervioso en los silencios y a hablar demasiado, mientras que Stephen comprende perfectamente el poder del silencio, el poder de sentirse como usted cuando está siendo examinado. Nervioso, decidí hablar con Stephen sobre cómo nuestros cumpleaños estaban separados por unos pocos días, lo cual nos colocaba en el mismo signo del Zodíaco. Tras unos pocos minutos, Stephen respondió: «Soy un astrónomo, no un astrólogo». También insistió en que le llamara Stephen y dejara de referirme a él como profesor. Me lo habían advertido...

La oportunidad de representar a Stephen fue extraordinaria. Me atrajo el

papel debido a la dualidad entre el triunfo externo de Stephen en su trabajo científico y su batalla interna contra la enfermedad motora neuronal desde sus veinte años. El suyo es un caso único, complejo y rico en la historia del esfuerzo humano, la vida familiar, los enormes logros académicos y la determinación desafiante ante todo tipo de obstáculos. Si bien aspirábamos a poner de manifiesto su inspiración, también queríamos mostrar la lucha y el valor involucrados en la vida de Stephen, tanto por su parte como por parte de quienes lo cuidaron.

Pero era igualmente importante retratar la otra cara de Stephen, la de puro showman. En mi camerino terminé teniendo tres imágenes de referencia. Una era de Einstein sacando la lengua, porque hay en Hawking un ingenio lúdico similar. Otra fue el del comodín de una baraja de cartas, representado como un titiritero, porque siento que Stephen siempre ha tenido a la gente en la palma de su mano. Y la tercera fue de James Dean. Y eso fue lo que me cautivó al verlo: su chispa y su humor.

La mayor tensión de representar a un personaje vivo es tener que rendirle cuentas de cómo le has representado. En el caso de Stephen, lo mismo me ocurría para con su familia, que fue tan generosa conmigo durante mis preparativos para la película. Antes de acudir a la proyección, Stephen me dijo: «Le diré lo que pienso. Que ha sido bueno. O de otro modo...». Respondí que si fuera «de otro modo» quizás podría simplemente decir «de otro modo...» y evitarme detalles humillantes. Generosamente, Stephen dijo que disfrutó con la película. Le conmovió, pero también declaró, como es bien sabido, que creía que debería haber habido más física y menos sentimientos. En este punto, es imposible llevarle la contraria.

Desde La teoría del todo, me he mantenido en contacto con la familia Hawking. Me conmovió que me pidieran que interviniera con una lectura en el funeral de Stephen. Fue un día increíblemente triste pero brillante, lleno de amor y de recuerdos y reflexiones alegres sobre este personaje tan extraordinariamente animoso, que orientó al mundo con su ciencia y con su esfuerzo por lograr que las personas con discapacidad sean reconocidas y tengan oportunidades para realizarse plenamente.

Hemos perdido una mente verdaderamente hermosa, un científico

asombroso y el hombre más divertido que he tenido el placer de conocer. Pero, tal como dijo su familia en el momento de la muerte de Stephen, su trabajo y su legado sobrevivirán, y así pues es con tristeza pero también con gran placer que presento esta colección de escritos de Stephen sobre temas diversos y fascinantes. Espero que disfruten con sus escritos y, parafraseando a Barack Obama, espero que Stephen lo esté pasando bien entre las estrellas.

Afectuosamente,

Eddie

Introducción

Profesor Kip S. Thorne

Me encontré con Stephen Hawking por primera vez en julio de 1965 en Londres, Inglaterra, en una conferencia sobre relatividad y gravitación. Stephen estaba en la mitad de sus estudios de doctorado en la Universidad de Cambridge; yo acababa de completar los míos en la Universidad de Princeton. Por las salas de conferencias corría el rumor de que Stephen había ideado un argumento muy convincente de que nuestro universo tenía que haber comenzado hace un tiempo finito. No podía ser infinitamente viejo.

Así pues, junto con otro centenar de personas, me apretujé en una sala diseñada para cuarenta, con objeto de escuchar hablar a Stephen. Caminaba con un bastón y su dicción era ligeramente inarticulada, pero por lo demás manifestaba signos muy tenues de la enfermedad motora neuronal que le había sido diagnosticada un par de años antes. Claramente, no había afectado a su mente. Su lúcido razonamiento se apoyaba en las ecuaciones de la relatividad general de Einstein, en observaciones de los astrónomos de que nuestro universo se está expandiendo y en unas pocas suposiciones que parecían muy plausibles, y utilizaba algunas nuevas técnicas matemáticas que Roger Penrose había ideado recientemente. Combinando todo eso de forma aguda, poderosa y convincente Stephen deducía su resultado: nuestro universo debió de haber comenzado en algún tipo de estado singular, hace aproximadamente unos diez mil millones de años. (En la década siguiente, Stephen y Roger, aunando sus fuerzas, lograron demostrar de manera

convincente ese origen singular del tiempo, y también de forma todavía más convincente que en el centro de cada agujero negro se aloja una singularidad en la que el tiempo termina.)

Salí de la conferencia de Stephen tremendamente impresionado, no solo por sus argumentos y su conclusión sino, todavía más importante, por su perspicacia y su creatividad. De manera que fui a verle y pasé una hora hablando con él en privado. Aquello fue el inicio de una amistad para toda la vida, una amistad basada no solo en intereses científicos compartidos, sino en una notable simpatía mutua, una capacidad insólita de comprendernos el uno al otro como seres humanos. No tardamos en estar hablando de nuevo más largamente sobre nuestras vidas, nuestros amores e incluso acerca de la muerte que sobre nuestra ciencia, que continuaba siendo el grueso de lo que nos unía.

En septiembre de 1973, llevé a Stephen y a su mujer Jane a Moscú. A pesar de la tensa Guerra Fría, yo había estado pasando en Moscú un mes cada dos años desde 1968, colaborando en investigación con miembros del grupo dirigido por Yakov Borisovich Zel'dovich. Zel'dovich era un soberbio astrofísico, y uno de los padres de la bomba de hidrógeno soviética. Debido a sus secretos nucleares, tenía prohibido viajar a la Europa occidental o a América. Se moría de ganas de hablar con Stephen; pero como no podía venir a Stephen, fuimos nosotros a él.

En Moscú, Stephen impresionó a Zel'dovich y a centenares de otros científicos con sus ideas, y a cambio Stephen aprendió una o dos cosas de Zel'dovich. Especialmente memorable fue una tarde que Stephen y yo pasamos con Zel'dovich y su estudiante de doctorado Alexei Starobinsky en la habitación de Stephen en el hotel Rossiya. Zel'dovich explicó de manera intuitiva un notable descubrimiento que habían hecho, y Starobinsky lo explicó matemáticamente.

Hacer que un agujero negro gire requiere energía. Eso ya lo sabíamos. Un agujero negro, nos explicaron, puede utilizar su energía de rotación para crear partículas, y las partículas escaparán llevándose consigo la energía de rotación. Eso era nuevo y sorprendente —pero no terriblemente sorprendente—. Cuando un objeto tiene energía de movimiento, la naturaleza acostumbra

a encontrar alguna manera de extraérsela. Ya conocíamos otras formas de extraer la energía de rotación de un agujero negro; esa era tan solo una manera nueva, aunque inesperada.

Ahora bien, el gran valor de conversaciones como esta es que pueden desencadenar nuevas líneas de pensamiento. Y eso fue lo que ocurrió con Stephen. Estuvo pensando durante varios meses sobre el descubrimiento de Zel’dovich/Starobinsky, contemplándolo ahora en una dirección ahora en otra, hasta que un día una visión verdaderamente radical fulguró en la mente de Stephen: después de que el agujero negro ha dejado de girar, continúa emitiendo partículas. Puede radiar —y radia como si estuviera caliente, como el Sol, aunque no muy caliente, solo ligeramente tibio—. Cuanto más pesado el agujero, más baja sería su temperatura. Un agujero con la masa del Sol tendría una temperatura de unos 0,06 microkelvin, es decir, de 0,06 millonésimas de grado sobre el cero absoluto. La fórmula para calcular dicha temperatura está grabada ahora en la lápida mortuoria de Stephen en la abadía de Westminster en Londres, donde yacen sus cenizas, entre las de Isaac Newton y Charles Darwin.

Esa «temperatura de Hawking» de un agujero negro y su «radiación de Hawking» (como han venido en ser llamadas) fueron verdaderamente radicales —tal vez el descubrimiento más radical en física teórica en la segunda mitad del siglo XX—. Nos abrieron los ojos a conexiones profundas entre la relatividad general (agujeros negros), termodinámica (la física del calor) y la física cuántica (la creación de partículas donde antes no había ninguna). Por ejemplo, llevaron a Stephen a demostrar que un agujero negro tiene entropía, lo cual quiere decir que en algún sitio dentro o alrededor del agujero negro hay una enorme aleatoriedad. Dedujo que la cantidad de entropía es proporcional al área de la superficie del agujero. Esa fórmula para la entropía será grabada en la piedra memorial de Stephen en el college Gonville and Caius en Cambridge, Inglaterra, donde trabajaba.

Durante los últimos cuarenta y cinco años, Stephen y centenares de otros físicos han luchado para comprender la naturaleza precisa de la aleatoriedad de un agujero negro. Es una pregunta que sigue generando nuevas visiones sobre el matrimonio de la teoría cuántica con la relatividad general: es decir,

sobre las leyes todavía poco comprendidas de la gravedad cuántica.

En otoño de 1974, Stephen llevó a sus estudiantes de doctorado y su familia (su mujer Jane y sus dos hijos Robert y Lucy) a Pasadena, California, durante un año, de manera que él y sus estudiantes pudieran participar en la vida intelectual de mi universidad, el Caltech, y confluir, temporalmente, con mi propio grupo de investigación. Fue un año glorioso, en el pináculo de lo que ha venido en ser llamada la «edad de oro de la investigación en agujeros negros».

Durante aquel año, Stephen y sus estudiantes y algunos de los míos se esforzaron para comprender más profundamente los agujeros negros, como también lo hice yo hasta cierto punto. Pero la presencia de Stephen y su liderazgo en nuestro grupo conjunto de investigación en agujeros negros me dio libertad para emprender una nueva dirección que había estado contemplando durante varios años: las ondas gravitatorias.

Solo hay dos tipos de ondas que puedan viajar por el universo transportándonos información sobre cosas muy lejanas: las ondas electromagnéticas (que incluyen la luz, los rayos X, los rayos gamma, microondas, radioondas...) y las ondas gravitatorias.

Las ondas electromagnéticas consisten en fuerzas eléctricas y magnéticas oscilantes que viajan a la velocidad de la luz. Cuando inciden sobre partículas cargadas, como los electrones de una antena de radio o de televisión, arrastran las partículas hacia arriba y abajo, depositando en ellas la información transportada por las ondas. Dicha información puede ser entonces amplificada y comunicada a un altavoz o una pantalla de televisión donde los humanos puedan aprehenderla.

Las ondas gravitatorias, según Einstein, consisten en una deformación oscilatoria del espacio: un estirarse y comprimirse del propio espacio. En 1972, Rainer (Rai) Weiss, en el Instituto de Tecnología de Massachusetts, había inventado un detector de ondas gravitatorias, en el cual unos espejos suspendidos en la esquina y los extremos de un tubo de vacío en forma de L son separados por el estiramiento del espacio en una pata de la L y aproximados entre sí por la contracción del espacio en la otra pata de la L. Rai propuso utilizar haces de rayos láser para medir el patrón oscilatorio de

ese estiramiento y contracción. La luz láser podría extraer la información de la onda gravitatoria, y la señal podría ser amplificada y comunicada a un ordenador para que pudiera ser aprehendida por los humanos.

El potencial de las ondas gravitatorias como cambio de paradigma científico podría ser comparado a cómo Galileo contribuyó a iniciar la astronomía electromagnética moderna construyendo un pequeño telescopio óptico, apuntándolo hacia Júpiter y descubriendo sus cuatro lunas mayores. Durante los cuatrocientos años posteriores a Galileo, la astronomía ha revolucionado completamente nuestra comprensión del universo, utilizando otras ondas electromagnéticas así como la luz visible en que él se basó.

En 1972, mis estudiantes y yo empezamos a preguntarnos qué podríamos aprender del universo utilizando ondas gravitatorias: desarrollamos una visión preliminar de lo que podría ser la astronomía con dichas ondas. Como las ondas gravitatorias son un tipo de deformación del espacio, serán producidas de manera más intensa por objetos que estén constituidos en sí mismos, total o parcialmente, por espacio-tiempo deformado —lo cual significa, especialmente, por agujeros negros—. Concluimos que las ondas gravitatorias son la herramienta ideal para explorar y someter a prueba las ideas de Stephen sobre los agujeros negros.

En términos más generales, nos pareció, las ondas gravitatorias son tan radicalmente diferentes de las ondas electromagnéticas que está casi garantizado que crearán su propia nueva revolución en nuestra comprensión del universo, tal vez comparable a la enorme revolución electromagnética que siguió a Galileo si esas ondas elusivas pudieran ser detectadas y monitorizadas. Pero ese era un gran si: estimamos que las ondas gravitatorias que están bañando la Tierra son tan débiles que los espejos de los extremos del dispositivo en forma de L de Rai Weiss se acercarían y alejarían entre sí no más de una centésima parte del diámetro de un protón (lo cual significa 1/10.000.000 del tamaño de un átomo), incluso si la separación entre los espejos era de varios kilómetros. El reto de medir movimientos tan diminutos era enorme.

Así pues, durante aquel año glorioso, con el grupo de Stephen y el mío unidos en el Caltech, pasé mucho tiempo explorando las perspectivas de éxito

de las ondas gravitatorias. Poco después del regreso de Stephen a Cambridge, mi búsqueda alcanzó un momento de gran fruición en una discusión intensa y que duró toda la noche en la habitación de Rai en un hotel de Washington DC. Me convencí de que las perspectivas de éxito eran suficientemente grandes para que dedicara la mayor parte de mi propia carrera, y la energía de mis futuros estudiantes, a ayudar a Rai y a otros experimentadores a lograr nuestra visión de las ondas gravitatorias. Y el resto, como se dice, es historia.

El 14 de septiembre de 2015, el detector de ondas gravitatorias LIGO (construido por un proyecto de un millar de personas que cofundamos Ray, yo mismo y Ronald Drever, y que Barry Barish organizó y reunió) registró y monitorizó sus primeras ondas gravitatorias. Comparando los patrones de las ondas con las predicciones de las simulaciones por ordenador, nuestro equipo concluyó que las ondas fueron producidas cuando dos agujeros negros masivos, a 1.300 millones de años luz de la Tierra, chocaron entre sí. Este fue el inicio de la astronomía de ondas gravitatorias. Nuestro equipo había logrado, con respecto a las ondas gravitatorias, lo que Galileo consiguió con las ondas electromagnéticas.

Confío en que, en las próximas décadas, la futura generación de astrónomos con ondas gravitatorias utilice dichas ondas no tan solo para someter a prueba las leyes de Stephen sobre la física de los agujeros negros, sino también para detectar y monitorizar las ondas gravitatorias del nacimiento singular de nuestro universo, y por lo tanto poner a prueba las ideas de Stephen y de otros sobre cómo nuestro universo llegó a ser.

Durante nuestro año glorioso de 1974-1975, mientras yo estaba dudando sobre las ondas gravitatorias y Stephen estaba guiando nuestro grupo conjunto en investigación sobre agujeros negros, Stephen tuvo una idea todavía más radical que su descubrimiento de la radiación de Hawking. Proporcionó una demostración convincente, casi irrefutable, de que cuando se forma un agujero negro y subsiguientemente se evapora por completo emitiendo radiación, la información que fue a parar al agujero negro no puede salir de él. Se pierde información inevitablemente.

Eso resulta radical porque las leyes de la física cuántica insisten inequívocamente en que la información no se puede perder nunca por

completo. Por eso, si Stephen estaba en lo cierto, los agujeros negros violan una de las leyes más fundamentales de la mecánica cuántica.

¿Cómo podría ser eso? La evaporación de los agujeros negros está regida por las leyes combinadas de la mecánica cuántica y de la relatividad general —las leyes mal comprendidas de la gravedad cuántica—; y así, Stephen razonó que el matrimonio fogoso de la relatividad general y la física cuántica debe llevar a la destrucción de información.

La gran mayoría de los físicos teóricos consideró que esa conclusión era abominable y han permanecido muy escépticos respecto a ella. Y así, durante cuarenta y cuatro años han luchado con esa denominada paradoja de la pérdida de información. Es una lucha que merece el esfuerzo y la angustia que se le han dedicado, ya que esa paradoja es una clave poderosa para la comprensión de las leyes de la gravedad cuántica. El mismo Stephen, en 2003, halló una manera en que la información podría escapar durante la evaporación del agujero, pero ello no apaciguó las luchas de los teóricos. Stephen no demostró que la información se escape, de manera que el debate continúa.

En mi elogio de Stephen, en la ceremonia en que sus cenizas fueron depositadas en la abadía de Westminster, resumí esa lucha con estas palabras: «Newton nos dio respuestas. Hawking nos dio preguntas. Y las preguntas de Hawking continúan dando, generando avances décadas después. Cuando al fin lleguemos a dominar las leyes de la gravedad cuántica y comprendamos completamente el nacimiento de nuestro universo, será muy probablemente a hombros de Hawking».

•

Tal como nuestro año glorioso de 1974-1975 fue solo el comienzo de mi búsqueda de ondas gravitatorias, también fue solo el comienzo de la búsqueda de Stephen de la comprensión detallada de las leyes de la gravedad cuántica y de qué nos dicen dichas leyes sobre la verdadera naturaleza de la información y la aleatoriedad de un agujero negro, y también sobre la verdadera naturaleza del nacimiento singular de nuestro universo, y la

verdadera naturaleza de las singularidades del interior de los agujeros negros (la verdadera naturaleza del nacimiento y la muerte del tiempo).

Son preguntas grandes. Muy grandes.

Siempre he huido de las grandes preguntas. No tengo las capacidades, la sabiduría ni la autoconfianza necesarias para enfrentarme a ellas.

Stephen, en cambio, siempre se sintió atraído por las grandes preguntas, estuvieran o no firmemente ancladas en la ciencia. El sí tenía las capacidades, la sabiduría y la autoconfianza necesarias.

Este libro es una compilación de sus respuestas a las grandes preguntas, respuestas sobre las cuales estaba todavía trabajando en el momento de su muerte.

Las respuestas de Stephen a seis de las grandes preguntas están profundamente enraizadas en su ciencia. (¿Hay un Dios? ¿Cómo empezó todo? ¿Podemos predecir el futuro? ¿Qué hay dentro de los agujeros negros? ¿Es posible viajar en el tiempo? ¿Cómo damos forma al futuro?) Aquí lo hallarán discutiendo en profundidad los temas que he descrito brevemente en esta introducción y también mucho, mucho más.

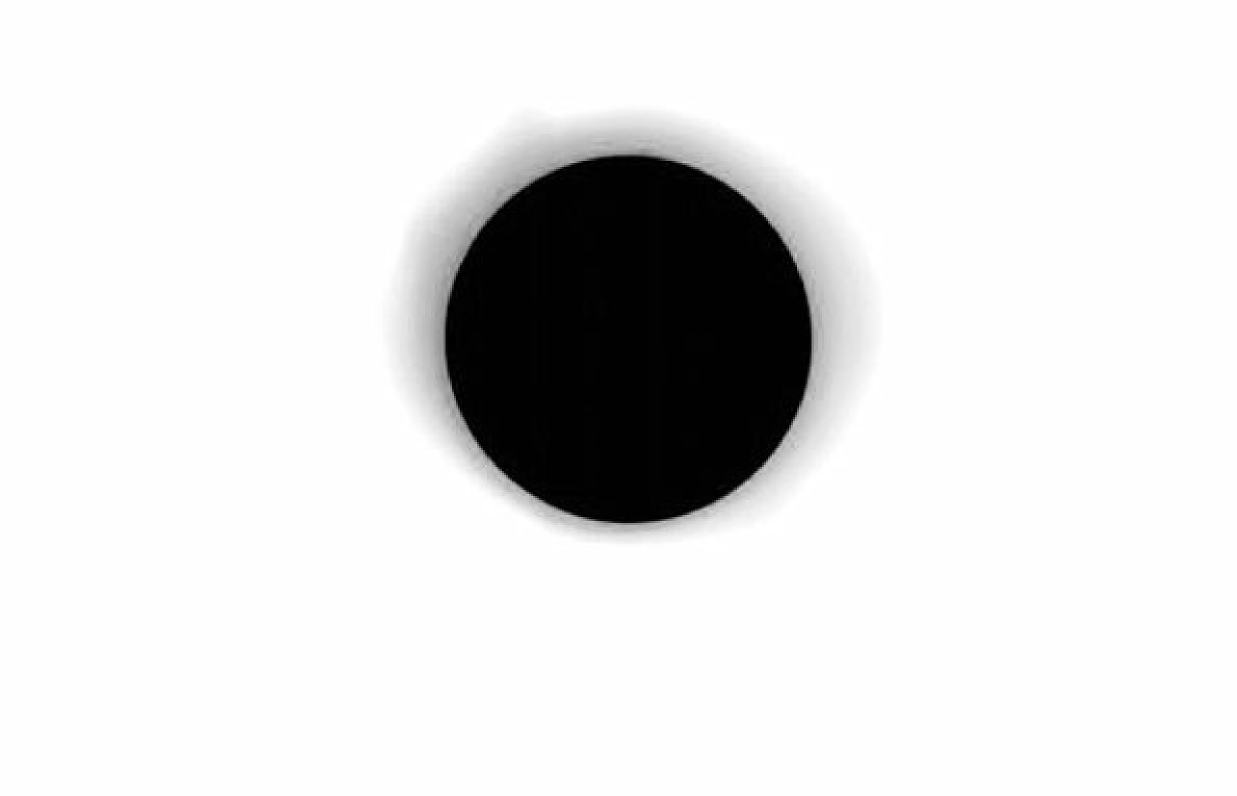
Sus respuestas a las otras cuatro grandes preguntas posiblemente no puedan basarse firmemente en su ciencia. (¿Sobreviviremos en la Tierra? ¿Hay más vida inteligente en el universo? ¿Deberíamos colonizar el espacio? ¿Seremos sobrepasados por la inteligencia artificial?) Sin embargo, sus respuestas revelan una profunda sabiduría y creatividad, como era de esperar.

Espero que sus respuestas les parezcan tan estimulantes y penetrantes como me lo han parecido a mí. ¡Disfrútenlas!

KIP S. THORNE
Julio de 2018



POR QUÉ DEBEMOS HACERNOS LAS GRANDES PREGUNTAS



La gente siempre ha querido respuestas a las grandes preguntas. ¿De dónde venimos? ¿Cómo comenzó el universo? ¿Qué sentido y qué intencionalidad hay tras todo eso? ¿Hay alguien ahí afuera? Las antiguas narraciones sobre la creación nos parecen ahora menos relevantes y creíbles. Han sido reemplazadas por una variedad de lo que solo se puede considerar supersticiones, que van desde la New Age hasta Star Trek. Pero la ciencia real puede ser mucho más extraña, y mucho más satisfactoria, que la ciencia ficción.

Soy un científico. Y un científico con una profunda fascinación por la física, la cosmología, el universo y el futuro de la humanidad. Mis padres me educaron para tener una curiosidad inquebrantable y, al igual que mi padre, para investigar y tratar de responder a las muchas preguntas que la ciencia nos plantea. He pasado la vida viajando por el universo, en el interior de mi mente. Mediante la física teórica, he tratado de responder algunas de las grandes preguntas. En un cierto momento, creí que vería el final de la física, tal como la conocemos, pero ahora creo que la maravilla de descubrir continuará mucho después de que me haya ido. Estamos cerca de algunas de

esas respuestas, pero todavía no las tenemos.

El problema es que la mayoría de la gente cree que la ciencia real es demasiado difícil y complicada para que la puedan entender. No creo sin embargo que este sea el caso. Investigar sobre las leyes fundamentales que rigen el universo requeriría una dedicación de tiempo que la mayoría de la gente no tiene; el mundo pronto se detendría si todos intentáramos hacer física teórica. Pero la mayoría de personas pueden comprender y apreciar las ideas básicas, si son presentadas de forma clara sin ecuaciones, cosa que creo que es posible y que he disfrutado tratando de hacer a lo largo de mi vida.

Ha sido una época gloriosa para vivir e investigar en física teórica. Nuestra imagen del universo ha cambiado mucho en los últimos cincuenta años, y me siento feliz si he contribuido en algo a ello. Una de las grandes revelaciones de la era espacial ha sido la perspectiva que nos ha proporcionado sobre la humanidad. Cuando contemplamos la Tierra desde el espacio, nos vemos a nosotros mismos como un todo. Vemos nuestra unidad y no nuestras divisiones. Es una imagen simple con un mensaje cautivador: un solo planeta, una sola especie humana.

Quiero sumar mi voz a la de aquellos que reclaman una acción inmediata sobre los desafíos clave de nuestra comunidad global. Espero que en el futuro, incluso cuando yo ya no esté, las personas con poder puedan mostrar creatividad, coraje y liderazgo. Dejémosles ponerse al nivel del desafío de los objetivos de desarrollo sostenible, y actuar no por su propio interés sino por el interés común. Soy muy consciente de cuán precioso es el valor del tiempo. Aprovechemos cada momento. Actuemos ahora mismo.

•

Ya he escrito anteriormente sobre mi vida pero cuando pienso en mi fascinación de siempre por las grandes preguntas creo que vale la pena repetir algunas de mis experiencias tempranas.

Nací exactamente trescientos años después de la muerte de Galileo, y me gustaría creer que esa coincidencia ha influido en cómo ha sido mi vida científica. Sin embargo, estimo que otros doscientos mil bebés nacieron aquel

mismo día. No sé si alguno de ellos se interesó posteriormente por la astronomía.

Crecí en una casa victoriana alta y estrecha en Highgate, en Londres, que mis padres compraron a bajo precio durante la segunda guerra mundial, cuando todos pensaban que Londres iba a quedar arrasada por los bombardeos. De hecho, un cohete V2 fue a caer a una casa poco más allá de la nuestra. En ese momento yo estaba lejos, con mi madre y mi hermana, y afortunadamente mi padre no resultó herido. Durante años, en el sitio de la bomba quedó un gran espacio vacío, en el que solía jugar con mi amigo Howard. Investigamos los resultados de la explosión con la misma curiosidad que ha impulsado mi vida entera.

En 1950, el lugar de trabajo de mi padre se trasladó al extremo norte de Londres, al nuevo Instituto Nacional de Investigación Médica recién construido en Mill Hill, por lo que mi familia se mudó a sus cercanías, a la ciudad catedralicia de Saint Albans. Me enviaron a la escuela secundaria para niñas, que a pesar de su nombre admitía niños de hasta diez años de edad. Más tarde fui a la escuela de Saint Albans. Nunca llegué más allá de la mitad de la clase —era una clase muy brillante— pero mis compañeros me pusieron el apodo de Einstein, así que presumiblemente vieron en mí signos de algo mejor. Cuando tenía doce años uno de mis amigos le apostó a otro una bolsa de caramelos a que nunca llegaría a nada.

En Saint Albans tenía seis o siete amigos íntimos, y recuerdo haber mantenido con ellos largas discusiones y debates sobre todo, desde modelos controlados por radio hasta la religión. Uno de nuestros grandes temas de discusión era el origen del universo, y si hace falta un Dios para crearlo y ponerlo en marcha. Había oído que la luz de las galaxias distantes se desplazaba hacia el extremo rojo del espectro y se suponía que esto indicaba que el universo se estaba expandiendo. Pero estaba seguro de que debía haber alguna otra explicación para ese desplazamiento hacia el rojo. ¿Tal vez la luz se cansaba y enrojecía en su camino hacia nosotros? Un universo esencialmente inmutable y eterno me parecía mucho más natural. (Fue solo años más tarde, tras el descubrimiento de la radiación cósmica de fondo de microondas, transcurridos ya dos años de mi investigación de doctorado, que

reconocí que me había equivocado.)

Siempre me interesó mucho el funcionamiento de las cosas, y solía desmontarlas para ver cómo funcionaban, pero no era tan bueno para volver a armarlas. Mis habilidades prácticas nunca igualaron mis cualidades teóricas. Mi padre alentó mi interés por la ciencia e insistía en que yo fuera a Oxford o Cambridge. Él mismo había ido al University College de Oxford, así que pensó que debería presentarme allí. En aquel momento, el University College no tenía ningún catedrático de matemáticas, así que no me quedaba otra opción que pedir una beca en ciencias naturales. Me sorprendió conseguirla.

La actitud predominante en Oxford en aquel momento era muy antitrabajo. Se suponía que debías ser brillante sin esfuerzo, o aceptar tus limitaciones y resignarte a una nota mínima. Yo lo tomé como una invitación a trabajar muy poco. No me siento orgulloso de ello, solo estoy describiendo mi actitud en aquel tiempo, compartida por la mayoría de mis compañeros. Uno de los resultados de mi enfermedad fue cambiar todo aquello. Cuando te enfrentas a la posibilidad de una muerte temprana, te das cuenta de que hay muchas cosas que quieres hacer antes de que tu vida termine.

Como había trabajado tan poco, planeé pasar el examen final evitando las preguntas que requiriesen algún conocimiento de los hechos, centrándome, en cambio, en problemas de física teórica. Pero la noche anterior no dormí y el examen no me fue muy bien. Estaba en la frontera entre un sobresaliente y un notable, y tuve que ser entrevistado por los examinadores para determinar qué nota me asignaban. En la entrevista me preguntaron por mis planes futuros. Respondí que quería hacer investigación. Si me concedían un sobresaliente, iría a Cambridge. Si solo me daban un notable, me quedaría en Oxford. Me dieron un sobresaliente.

En las largas vacaciones posteriores a mi examen final, la universidad ofreció una serie de pequeñas becas de viaje. Pensé que mis posibilidades de obtener una serían mayores cuanto más lejos me propusiera ir, y dije que quería ir a Irán. Partí en el verano de 1962, en tren hasta Estambul, luego a Erzurum en el este de Turquía, luego a Tabriz, Teherán, Isfahán, Shiraz y Persépolis, la capital de los antiguos reyes persas. De regreso a casa, yo y mi compañero de viaje, Richard Chiin, quedamos atrapados en el gran terremoto

de Bouin-Zahra, de 7,1 grados en la escala Richter, que mató a más de doce mil personas. Debí haber estado cerca del epicentro, pero no lo sabía porque estaba enfermo y en un autobús que iba dando tumbos por las carreteras iraníes, que entonces tenían muchos baches.

Pasamos los siguientes días en Tabriz, mientras me recuperaba de una grave disentería y de una costilla que me rompí al ser arrojado contra el asiento de enfrente en el autobús, desconociendo todavía la magnitud del desastre, porque no hablábamos farsi. Hasta que llegamos a Estambul no supimos qué había pasado. Envié una postal a mis padres, que habían estado esperando ansiosamente diez días, porque la última vez que nos comunicamos yo estaba saliendo de Teherán hacia la región del desastre en el día del terremoto. A pesar del seísmo, tengo muy buenos recuerdos de mis días en Irán. Una curiosidad intensa por el mundo puede ponernos en peligro, pero para mí esta fue probablemente la única vez en mi vida que esto ha sido cierto.

En octubre de 1962, cuando llegué a Cambridge, al Departamento de Matemáticas y Física Teórica, tenía veinte años. Había solicitado trabajar con Fred Hoyle, el astrónomo británico más famoso de la época. Digo astrónomo, porque entonces la cosmología apenas era reconocida como un campo legítimo de investigación. Sin embargo, Hoyle ya tenía suficientes estudiantes, así que con gran decepción mía fui asignado a Dennis Sciama, de quien no había oído hablar. Pero de hecho fue bueno no haber sido estudiante de Hoyle, porque me habría arrastrado a tener que defender su teoría del estado estacionario, cosa que hubiera resultado más difícil que negociar el Brexit. Comencé mi trabajo leyendo viejos libros de texto sobre relatividad general, atraído como siempre por las preguntas más importantes.

Como algunos de ustedes pueden haber visto en la película en la que Eddie Redmayne interpreta una versión particularmente favorecedora de mí, en mi tercer año en Oxford noté que parecía ir volviéndome más torpe. Me caí una o dos veces sin poder entender por qué, y noté que ya no podía remar apropiadamente. Se hizo evidente que algo no iba del todo bien, y no me gustó nada que un médico me dijera que dejara la cerveza.

El invierno después de llegar a Cambridge fue muy frío. Estaba en casa

por las vacaciones de Navidad, cuando mi madre me convenció de ir a patinar al lago de Saint Albans, aunque yo sabía que no estaba preparado para eso. Me caí y tuve grandes dificultades para reincorporarme. Mi madre se dio cuenta de que algo iba mal y me llevó al médico.

Pasé semanas en el hospital de St Bartholomew, donde me hicieron muchas pruebas. Era 1962, y las pruebas fueron algo más primitivas de lo que son ahora. Me tomaron una muestra de músculo del brazo, me clavaron electrodos y me inyectaron en la columna vertebral un fluido opaco a las radiaciones que los doctores observaron con rayos X cómo subía y bajaba al inclinar la cama. En realidad, nunca me dijeron qué era lo que fallaba, pero adiviné lo suficiente como para concluir que era algo bastante grave, así que no lo quería preguntar. Deduje de las conversaciones de los doctores que, fuera lo que fuera «eso», solo empeoraría y no había nada que pudieran hacer, excepto darme vitaminas. De hecho, el doctor que realizó las pruebas se desentendió de mí y nunca lo volví a ver. Se dio cuenta de que no había nada que pudiera hacer por mí.

En algún momento, debí enterarme de que el diagnóstico era esclerosis lateral amiotrófica (ELA), un tipo de enfermedad motora neuronal en que las células nerviosas del cerebro y de la médula espinal se atrofian y luego se cicatrizan o se endurecen. También me enteré de que las personas con esta enfermedad pierden gradualmente la capacidad de controlar sus movimientos, de hablar, de comer y finalmente de respirar.

Mi enfermedad parecía progresar rápidamente. Como es comprensible, me deprimí, ya que no veía qué sentido tenía continuar investigando en mi doctorado si ni tan solo sabía si llegaría a vivir lo suficiente para terminarlo. Pero la progresión se ralentizó y sentí un renovado entusiasmo por mi trabajo. Después de que mis expectativas se hubieran reducido a cero, cada nuevo día se convirtió en una propina y empecé a apreciar todo lo que tenía. Mientras hay vida, hay esperanza.

Y, por supuesto, también había una chica llamada Jane, a quien había conocido en una fiesta. Estaba muy decidida a que juntos pudiéramos luchar contra mi condición. Su confianza me esperanzó. Comprometerme con ella levantó mi ánimo y me di cuenta de que si nos casábamos debería conseguir

un trabajo y terminar mi doctorado. Y como siempre, las grandes preguntas me estaban impulsando. Comencé a trabajar duro y lo disfruté.

Para mantenerme durante mis estudios, solicité una beca de investigación en el college Gonville y Caius. Para mi gran sorpresa, fui elegido y he sido miembro de honor del Caius desde entonces. Ser nombrado miembro honorario fue un punto de inflexión en mi vida. Significaba que podía continuar mi investigación a pesar de mi creciente discapacidad. También significaba que Jane y yo podríamos casarnos, lo cual hicimos en julio de 1965. Nuestro primer hijo, Robert, nació dos años después de que nos casáramos. Nuestro segundo hijo, Lucy, nació unos tres años después. Nuestro tercer hijo, Timothy, nacería en 1979.

Como padre, traté de inculcar la importancia de hacer siempre preguntas. Una vez, en una entrevista, mi hijo Tim contó que en un cierto momento le preocupó que una pregunta que se planteaba fuera un poco tonta. Quería saber si había muchos otros universos diminutos esparcidos. Yo le dije que nunca tuviera miedo de proponer una idea o una hipótesis, por muy tonta (son sus palabras, no las mías) que pudiera parecer.

•

La gran pregunta en cosmología a principios de la década de 1960 era si el universo tuvo un comienzo. Muchos científicos se oponían instintivamente a esa idea, porque creían que un punto de creación sería un lugar donde la ciencia dejaría de valer. Uno debería apelar a la religión y a la mano de Dios para determinar cómo comenzó el universo. Esto era claramente una pregunta fundamental, y era justo lo que yo necesitaba para completar mi tesis de doctorado.

Roger Penrose había demostrado que una vez que una estrella moribunda se ha contraído a un cierto radio, evolucionará inevitablemente hasta una singularidad, un punto donde el espacio y el tiempo llegarían a su fin. Por lo tanto, pensé, ya sabíamos con seguridad que nada podría evitar que una estrella fría masiva se colapsara bajo su propia gravedad hasta alcanzar una singularidad de densidad infinita. Me di cuenta de que argumentos similares

podrían aplicarse a la expansión del universo. En este caso, pude demostrar que había singularidades donde comenzó el espacio-tiempo.

Un momento eureka llegó en 1970, unos días después del nacimiento de mi hija Lucy. Mientras me metía en la cama un anochecer, cosa que mi discapacidad convertía en un proceso muy lento, me di cuenta de que podría aplicar a los agujeros negros la teoría de la estructura causal que había desarrollado para los teoremas de singularidad. Si la relatividad general es correcta y si la densidad de energía es positiva, el área de la superficie del horizonte de sucesos —el borde de un agujero negro— tiene la propiedad de que siempre aumenta cuando materia o radiación adicionales caen en él. Además, si dos agujeros negros chocan y se fusionan en un único agujero negro, el área del horizonte de sucesos del agujero negro resultante debe ser mayor que la suma de las áreas de los horizontes de sucesos de los agujeros negros originales.

Fue una Edad de Oro, en la que resolvimos la mayoría de los principales problemas en la teoría de los agujeros negros incluso antes de que hubiera evidencia observacional alguna de ellos. De hecho, teníamos tanto éxito con la teoría general clásica de la relatividad que en 1973, después de la publicación con George Ellis de nuestro libro La estructura del espacio-tiempo a gran escala, me sentí sin saber qué hacer. Mi trabajo con Penrose había demostrado que la relatividad general dejaba de ser válida en singularidades; así pues, el siguiente paso obvio sería combinar la relatividad general —la teoría de lo muy grande— con la teoría cuántica —la teoría de lo muy pequeño—. En particular, me preguntaba si podría haber átomos cuyo núcleo fuera un pequeño agujero negro primordial, formado en el universo temprano. Mis investigaciones revelaron una relación profunda e insospechada hasta entonces entre la gravedad y la termodinámica, la ciencia del calor, y resolvieron una paradoja que había sido debatida infructuosamente durante treinta años: la radiación remanente de un agujero negro que se contrae, ¿cómo se podría llevar toda la información sobre el agujero negro? Descubrí que la información no se pierde, pero no se recupera de manera útil: es como quemar una enciclopedia pero reteniendo el humo y las cenizas.

Para responder esa pregunta, estudié cómo los campos cuánticos o las partículas serían dispersados al chocar con un agujero negro. Esperaba que una parte de la onda incidente sería absorbida y la parte restante dispersada. Pero con gran sorpresa hallé que parecía que también el propio agujero negro emitía. Al principio, creí que eso era un error de mis cálculos. Sin embargo, lo que me persuadió de que era real fue que dicha emisión era exactamente la que se necesitaba para identificar el área del horizonte de sucesos del agujero negro con su entropía. Dicha entropía, una medida del desorden de un sistema, se resume en la siguiente fórmula sencilla $S = \frac{Akc^3}{4G\hbar}$ que expresa la entropía en función del área A del horizonte y de tres constantes fundamentales de la naturaleza, c, la velocidad de la luz, G, la constante de Newton de la gravitación, y ħ la constante de Planck. La emisión de dicha radiación térmica por parte del agujero negro se denomina ahora radiación de Hawking y me siento orgulloso de haberla descubierto.

En 1974, fui elegido miembro de la Royal Society. Mi elección constituyó una sorpresa para los miembros de mi departamento porque yo era muy joven y tan solo un simple ayudante de investigación. Pero al cabo de tres años me ascendieron a profesor. Mi trabajo sobre agujeros negros me dio la esperanza de descubrir una teoría del todo, y esa búsqueda me mantuvo en marcha.

El mismo año, mi amigo Kip Thorne nos invitó, a nosotros y a otros que trabajaban en relatividad general, al Instituto de Tecnología de California (Caltech). En los últimos cuatro años, había estado usando una silla de ruedas manual y un triciclo eléctrico azul, que se movía con la lentitud de una bicicleta y en el que a veces transportaba pasajeros ilegalmente. Cuando fuimos a California, nos alojamos en una casa de estilo colonial propiedad del Caltech cerca del campus y allí utilicé por primera vez una silla de ruedas eléctrica. Eso me otorgó un grado considerable de independencia, especialmente gracias a que en Estados Unidos los edificios y las aceras son mucho más accesibles para los discapacitados que en Gran Bretaña.

Cuando volvimos del Caltech en 1975, al principio me sentí bastante bajo de moral. Todo me parecía provinciano y restringido en comparación con la

actitud de «sí se puede» que hay en América. En aquel momento, el paisaje estaba lleno de árboles muertos por la epidemia del olmo holandés y el país estaba asolado por las huelgas. Sin embargo, mi ánimo mejoró cuando vi el éxito de mi trabajo y cuando fui elegido, en 1979, para la Cátedra Lucasiana de Matemáticas, un cargo que había sido ocupado por sir Isaac Newton y por Paul Dirac.

Durante la década de 1970, había estado trabajando principalmente en agujeros negros pero mi interés en la cosmología se renovó con las sugerencias de que el universo primitivo había pasado por un período de rápida expansión inflacionaria durante la cual su tamaño creció a un ritmo cada vez mayor, tal como los precios han aumentado desde el Brexit. También pasé un tiempo trabajando con Jim Hartle, explorando la teoría del nacimiento del universo que denominamos «de ausencia de fronteras».

A principios de los años ochenta, mi salud continuó empeorando, y sufrí ataques de asfixia prolongados porque mi laringe se iba debilitando y dejaba pasar comida a los pulmones. En 1985, en un viaje al CERN, el Centro Europeo de Investigación Nuclear, en Suiza, contraje una neumonía. Aquel momento cambió mi vida. Me llevaron con urgencia al Hospital Cantonal de Lucerna y me pusieron respiración asistida. Los doctores sugirieron a Jane que las cosas habían llegado a un punto en que ya nada se podía hacer y le sugirieron apagar el ventilador y terminar mi vida. Pero Jane se negó y ordenó que me trasladaran al Hospital Addenbrooke, en Cambridge, en ambulancia aérea.

Como pueden imaginar, fue una época muy difícil, pero afortunadamente los doctores en Addenbrooke hicieron todo lo posible para devolverme a mi estado anterior a la visita a Suiza. Sin embargo, como mi laringe aún dejaba pasar comida y saliva a los pulmones, tuvieron que realizarme una traqueotomía. Como la mayoría de ustedes sabrá, una traqueotomía elimina la capacidad de hablar. La voz es muy importante. Si se arrastra, como la mía, la gente puede pensar que eres mentalmente deficiente y te trate en consecuencia. Antes de la traqueotomía mi discurso era tan indistinto que solo las personas que me conocían bien podían entenderme. Mis hijos eran de los pocos que lo conseguían. Durante un tiempo tras la traqueotomía, la única

forma en que podía comunicarme era ir formando palabras, letra a letra, levantando las cejas cuando alguien señalaba la letra correcta en un abecedario.

Afortunadamente, un experto en informática de California llamado Walt Woltosz se enteró de mis dificultades y me envió un programa de ordenador que había escrito llamado Ecualizador. Esto me permitió seleccionar palabras completas de una serie de menús en la pantalla del ordenador de mi silla de ruedas, presionando un botón con la mano. Desde entonces, el sistema se ha desarrollado mucho. Hoy uso un programa llamado Acat, desarrollado por Intel, que controlo con un pequeño sensor en mis gafas mediante movimientos de mis mejillas. Tiene un teléfono móvil, que me da acceso a Internet. Puedo afirmar que soy la persona más conectada del mundo. Sin embargo, para hablar he mantenido el programa Sintetizador original, en parte porque no he escuchado ninguno con mejor fraseo, y en parte porque ahora me identifico con su voz, a pesar de su acento americano.

La idea de escribir un libro de divulgación sobre el universo me vino en 1982, en la época de mi trabajo en la teoría de la ausencia de fronteras. Pensé que me permitiría ganar una cantidad modesta para ayudar a los gastos escolares de mis hijos y a los crecientes costos de mi cuidado, pero la razón principal era que quería explicar cuanto creía haber avanzado en nuestra comprensión del universo: cuán cerca podríamos estar de encontrar una teoría completa que describa el universo y todo lo que contiene. No solo es importante hacer preguntas y encontrar las respuestas: como científico me sentía obligado a comunicar a la gente lo que estábamos aprendiendo.

Apropiadamente, Historia del tiempo se publicó por primera vez el Día de los Inocentes (primero de abril) de 1988. De hecho, originalmente el libro debía llamarse Del Big Bang a los agujeros negros. Historia del tiempo. El título se acortó y el resto es historia.

Nunca esperé que Historia del tiempo tuviera tanto éxito como tuvo. Sin duda, la historia de interés humano de cómo he logrado llegar a ser un físico teórico y un autor superventas a pesar de mi discapacidad ha ayudado. No todos han podido llegar a terminarlo ni han entendido todo lo que leen, pero al menos han lidiado con una de las grandes preguntas de nuestra existencia y

captaron la idea de que vivimos en un universo gobernado por leyes racionales que, a través de la ciencia, podemos descubrir y comprender.

Para mis colegas, solo soy otro físico, pero para el público en general me convertí posiblemente en el científico más conocido del mundo. Esto se debe en parte a que los científicos, salvo Einstein, no son tan conocidos como las estrellas de rock, y en parte porque encajo en el estereotipo de un genio discapacitado. No puedo disfrazarme con una peluca y gafas oscuras; la silla de ruedas me delata. Ser famoso y fácilmente reconocible tiene ventajas e inconvenientes, pero los inconvenientes son más que superados por las ventajas. La gente parece realmente complacida de verme. Incluso tuve la audiencia más amplia de mi vida cuando hice de presentador de los Juegos Paralímpicos de Londres en 2012.

He tenido una vida extraordinaria en este planeta, mientras que, al mismo tiempo, he viajado por el universo mediante mi mente y las leyes de la física. He estado en los confines más lejanos de nuestra galaxia, he viajado a agujeros negros y he regresado al principio de los tiempos. En la Tierra, he experimentado altibajos, turbulencia y paz, éxito y sufrimiento, he sido rico y pobre, capaz y discapacitado. Me han elogiado y criticado, pero nunca me han ignorado. Me he sentido enormemente privilegiado de poder contribuir, con mi trabajo, a nuestra comprensión del universo. Pero sería un universo vacío, si no fuera por las personas que amo y que me aman. Sin ellas, la maravilla de todo se habría perdido para mí.

Y al final de todo esto, el hecho de que los humanos, que al fin y al cabo somos conjuntos de partículas fundamentales de la naturaleza, hayamos podido alcanzar una cierta comprensión de las leyes que gobiernan el universo y a nosotros mismos, es un gran triunfo. Quiero compartir mi emoción sobre esas grandes preguntas y mi entusiasmo sobre esa búsqueda.

¿Cuál era su sueño cuando era un niño, y hasta qué punto se ha realizado?

Quería ser un gran científico. Sin embargo, en la escuela no era muy buen estudiante y raramente me hallaba en la primera mitad de mi clase. Mi trabajo era bastante deficiente y mi escritura poco aseada. Pero en la

escuela tenía buenos amigos y hablábamos de todo y, en especial, sobre el origen del universo. Aquí es donde empezó mi sueño, y he tenido la suerte de que se ha realizado.

Espero que algún día lleguemos a saber las respuestas a todas esas preguntas. Pero hay otros desafíos, otras grandes preguntas en el planeta que deben ser respondidas, y estas también necesitan una nueva generación interesada, comprometida y que comprenda bien la ciencia. ¿Cómo alimentar a una población en constante crecimiento, proporcionar agua limpia, generar energía renovable, prevenir y curar enfermedades, y frenar el cambio climático global? Espero que la ciencia y la tecnología proporcionen las respuestas a esas preguntas, pero hará falta gente con conocimiento y comprensión para implementar esas soluciones. Debemos luchar para que cada mujer y cada hombre tengan la oportunidad de vivir vidas sanas y seguras, con oportunidades y amor. Todos somos viajeros en el tiempo, viajamos juntos hacia el futuro. Trabajemos unidos para construir ese futuro, un lugar que nos guste visitar.

Seamos valientes, curiosos, decididos, superemos las dificultades. Se puede conseguir.

1

¿HAY UN DIOS?



La ciencia responde cada vez más a preguntas que solían formar parte de la religión. La religión fue un intento temprano de responder las preguntas que todos nos hacemos: ¿Por qué estamos aquí? ¿De dónde venimos? Hace mucho tiempo, la respuesta casi siempre era la misma: todo lo habían hecho los dioses. El mundo era un lugar aterrador, por lo que incluso personas tan curtidas como los vikingos creían en seres sobrenaturales para dar sentido a fenómenos naturales como rayos, tormentas o eclipses. Hoy en día, la ciencia proporciona respuestas mejores y más consistentes, pero las personas siempre se aferrarán a la religión, porque proporciona consuelo, y porque no confían ni entienden la ciencia.

Hace unos pocos años, el periódico The Times publicó un titular en primera página que decía «"No hay Dios", dice Hawking». El artículo iba ilustrado. Dios era mostrado en un dibujo de Leonardo da Vinci con un aspecto atronador. Publicaron una foto mía, en que parecía un petulante. Hicieron que aquello pareciera un duelo entre nosotros dos. Sin embargo, no tengo ningún resentimiento hacia Dios. No quiero dar la impresión de que mi trabajo trata de demostrar o refutar su existencia. Mi trabajo consiste en

intentar hallar un marco racional para comprender el universo que nos rodea.

Durante siglos, se creyó que las personas discapacitadas como yo vivían bajo una maldición divina. Bueno, supongo que tal vez haya molestado a alguien de un más allá, pero prefiero pensar que todo se puede explicar de otra manera, mediante las leyes de la naturaleza. Si creemos en la ciencia, como yo creo, creemos que hay ciertas leyes que siempre se obedecen. Si lo deseamos, podemos decir que dichas leyes son obra de Dios, pero eso es más bien una definición de Dios que una demostración de su existencia. Alrededor del 300 a. C., un filósofo llamado Aristarco se sentía fascinado por los eclipses, especialmente los eclipses de Luna. Fue lo suficientemente valiente como para cuestionar si realmente eran causados por dioses. Aristarco fue un verdadero pionero científico, que estudió cuidadosamente los cielos y llegó a una conclusión audaz: se dio cuenta de que el eclipse era en realidad la sombra de la Tierra que pasa sobre la Luna, y no un evento divino. Liberado por este descubrimiento, consiguió resolver lo que realmente estaba pasando por encima de su cabeza, y trazó diagramas que mostraban la relación del Sol, la Tierra y la Luna. Desde ahí llegó a conclusiones aún más notables: dedujo que la Tierra no era el centro del universo, como todos habían pensado hasta entonces, sino que gira alrededor del Sol. De hecho, entender esa disposición explica todos los eclipses. Cuando la Luna proyecta su sombra sobre la Tierra, se produce un eclipse solar, y cuando la Tierra hace sombra a la Luna, se da un eclipse lunar. Pero Aristarco fue aún más lejos. Sugirió que las estrellas no eran orificios en el piso de cielo, como sus contemporáneos creían, sino que eran otros soles, como el nuestro, solo que muy lejanos. ¡Qué sorprendente debe haber resultado esa idea! El universo es una máquina gobernada por principios o leyes, unas leyes que pueden ser entendidas por la mente humana.

Creo que el descubrimiento de esas leyes ha sido el mayor logro de la humanidad, porque son esas leyes de la naturaleza, como ahora las llamamos, las que nos dirán si hace falta realmente un dios para explicar el universo. Las leyes de la naturaleza son una descripción de cómo las cosas funcionan realmente en el pasado, el presente y el futuro. En el tenis, la pelota siempre va exactamente donde las leyes dicen que irá. Y hay muchas otras leyes en

juego, que gobiernan todo lo que pasa, desde cómo se produce la energía del lanzamiento en los músculos de los jugadores hasta la velocidad con que la hierba crece bajo sus pies. Pero lo que realmente importa es que esas leyes físicas, además de ser inmutables, son universales. Se aplican no solo al vuelo de una pelota, sino al movimiento de un planeta y de todo lo demás en el universo. A diferencia de las leyes promulgadas por los humanos, las leyes de la naturaleza no se pueden transgredir, por eso son tan poderosas, y también tan controvertidas cuando se consideran desde una perspectiva religiosa.

Si se acepta, como yo lo hago, que las leyes de la naturaleza son fijas, no tardamos en preguntarnos: qué papel queda para Dios. En eso estriba una gran parte de la contradicción entre la ciencia y la religión, y aunque mis puntos de vista han sido noticia, en realidad es un conflicto antiguo. Podríamos definir a Dios como la encarnación de las leyes de la naturaleza. Sin embargo, esto no es lo que la mayoría de las personas piensan de Dios. Dios significa para ellas un ser parecido a los humanos, con quien podemos relacionarnos personalmente. Cuando miramos la inmensidad del universo, y consideramos cuán insignificante y accidental es en ella la vida humana, eso parece muy inverosímil.

Utilizo la palabra Dios en un sentido impersonal, como lo hacía Einstein, para designar las leyes de la naturaleza, por lo cual conocer la mente de Dios es conocer las leyes de la naturaleza. Mi predicción es que conoceremos la mente de Dios para el final de este siglo.

Un campo restante que la religión puede reclamar todavía para sí es el origen del universo; pero incluso aquí la ciencia está progresando, y pronto debería proporcionar una respuesta definitiva a cómo comenzó el universo. Publiqué un libro en que me preguntaba si Dios creó el universo y que causó cierto revuelo. La gente se enojó de que un científico tuviera algo que decir sobre asuntos de la religión. No deseo decir a nadie lo que debe creer, sino que me pregunto si la existencia de Dios es una pregunta válida para la ciencia. Al fin y al cabo, es difícil pensar un misterio más importante o fundamental que qué, o quién, creó y controla el universo.

Creo que el universo fue creado espontáneamente de la nada, según las leyes de la ciencia. La suposición básica de la ciencia es el determinismo

científico. Las leyes de la ciencia determinan la evolución del universo, dado su estado en un momento concreto. Esas leyes pueden, o no, haber sido decretadas por Dios, pero este no puede intervenir para transgredirlas, o no serían leyes. Eso deja a Dios la libertad de elegir el estado inicial del universo, pero incluso aquí, parece que pueda haber leyes. Si fuera así, Dios no tendría ninguna libertad.

A pesar de la complejidad y variedad del universo, resulta que para construirlo se necesita tan solo tres ingredientes. Imaginemos que pudiéramos enumerarlos en algún tipo de libro de cocina cósmico. Entonces, ¿cuáles son los tres ingredientes necesarios para cocinar un universo? El primero es materia —cosas que tienen masa—. La materia está a nuestro alrededor, en el suelo debajo de nuestros pies y alrededor nuestro en el espacio. Polvo, roca, hielo, líquidos. Grandes nubes de gas, enormes galaxias espirales, cada una conteniendo miles de millones de soles, extendiéndose a distancias increíbles.

Lo segundo que se necesita es energía. Incluso si nunca lo hemos pensado, todos sabemos qué es la energía. Es algo que encontramos todos los días. Miramos al sol y podemos sentirla en nuestra cara: energía producida por una estrella a ciento cincuenta millones de kilómetros de distancia. La energía impregna el universo e impulsa los procesos que hacen de él un lugar dinámico e incesantemente cambiante.

Tenemos pues materia y energía. La tercera cosa necesaria para construir un universo es espacio, mucho espacio. Podemos calificar el universo de muchas maneras: impresionante, hermoso, violento, pero algo que no le podemos llamar es estrecho. Donde quiera que miremos vemos espacio, más espacio y aún más espacio, estirándose en todas las direcciones. Es literalmente mareador. Entonces, ¿de dónde podría venir toda esa materia, energía y espacio? No teníamos ni idea hasta el siglo XX.

La respuesta vino de la perspicacia de un hombre, probablemente el científico más notable que haya vivido jamás. Su nombre era Albert Einstein. Lamentablemente, no llegué a conocerlo, ya que murió cuando yo tenía tan solo trece años. Einstein se dio cuenta de algo bastante notable: que dos de los principales ingredientes necesarios para hacer un universo, masa y energía, son básicamente lo mismo, dos lados de la misma moneda. Su

famosa ecuación E = mc2 simplemente significa que la masa puede ser considerada como un tipo de energía, y viceversa. Entonces, en lugar de tres ingredientes, podemos decir ahora que el universo tiene solo dos: energía y espacio. Entonces, ¿de dónde vienen toda esa energía y todo ese espacio? La respuesta se encontró después de décadas de investigación científica: espacio y energía se inventaron espontáneamente en un acontecimiento que ahora llamamos el Big Bang.

En el momento del Big Bang, comenzó a existir el universo entero, y con él el espacio. Todo se expandió, como un globo que estuviera siendo hinchado. Pero ¿de dónde vinieron toda esa energía y todo ese espacio? ¿Cómo puede simplemente aparecer de la nada todo un universo lleno de energía, la increíble inmensidad del espacio, y todo lo que hay en él?

Para algunos, es aquí donde Dios vuelve a escena. Fue Dios quien creó la energía y el espacio. El Big Bang fue el momento de la creación. Pero la ciencia cuenta una historia diferente. A riesgo de buscarme problemas, creo que podemos entender mucho mejor la naturaleza de los fenómenos que aterrorizaron a los vikingos. Incluso podemos ir más allá de la hermosa simetría de energía y materia descubierta por Einstein. Podemos usar las leyes de la naturaleza para abordar el origen del universo y descubrir si la existencia de Dios es la única manera de explicarlo.

Después de la segunda guerra mundial, en Inglaterra, mientras yo crecía, hubo una época de austeridad. Se nos dijo que nunca se obtiene algo a cambio de nada. Pero ahora, después de toda una vida de trabajo, creo que en realidad podemos obtener gratuitamente todo un universo.

El gran misterio central del Big Bang es explicar cómo todo un universo increíblemente enorme en espacio y en energía puede materializarse de la nada. El secreto está en uno de los hechos más extraños de nuestro cosmos. Las leyes de la física exigen la existencia de algo llamado «energía negativa».

Para avanzar en este concepto extraño pero crucial, permítanme recurrir a una analogía sencilla. Imaginemos que alguien quiere construir una colina en un terreno plano. La colina representará el universo. Para hacer esa colina, cava un hoyo en el suelo y usa su tierra para hacer la colina. Pero, por supuesto, no solo está haciendo una colina, también está haciendo un agujero,

una versión negativa de la colina. Lo que había antes en el agujero ahora se ha convertido en la colina, por lo que en conjunto todo se equilibra perfectamente. Este es el principio subyacente a lo que sucedió al comienzo del universo.

Cuando el Big Bang produjo una gran cantidad de energía positiva, simultáneamente produjo la misma cantidad de energía negativa. De esa manera, la energía positiva y la negativa suman siempre cero. Es otra ley de la naturaleza.

Pero ¿dónde está hoy toda esa energía negativa? Está en el tercer ingrediente de nuestro libro de cocina cósmico: en el espacio. Eso puede sonar extraño, pero según las leyes de la naturaleza de la gravedad y del movimiento —leyes que se hallan entre las más antiguas de la ciencia— el espacio mismo es un gran almacén de energía negativa, suficiente para asegurar que el conjunto sume cero.

Debo admitir que, a menos que las matemáticas sean lo suyo, esto es difícil de entender, pero es verdad. La interminable red de miles de millones de galaxias atrayéndose las unas a las otras mediante la fuerza de la gravedad actúa como un dispositivo gigante de almacenamiento. El universo es como una enorme batería que almacena energía negativa. El lado positivo de las cosas, la masa y la energía que vemos hoy, es como la colina. El hoyo correspondiente, o el lado negativo de las cosas, se extiende por el conjunto del espacio.

Pero ¿qué significa esto en nuestra búsqueda para descubrir si hay un Dios? Significa que si el universo no agrega nada, entonces no necesitamos un Dios para crearlo. El universo es el almuerzo gratuito definitivo.

Como sabemos que la energía positiva y la negativa suman cero, todo lo que tenemos que hacer ahora es averiguar qué —o me atrevo a decir quién— desencadenó todo el proceso. ¿Qué podría causar la aparición espontánea de un universo? A primera vista, parece un problema desconcertante —después de todo, en la vida cotidiana las cosas no se materializan de la nada—. No podemos tomar una taza de café cuando nos apetece simplemente haciendo chasquear los dedos. Tenemos que servirnos de otras cosas como granos de café, agua y tal vez un poco de leche y azúcar. Pero si nos adentramos en esa

taza de café, a través de las partículas de leche, hasta los niveles atómico y subatómico, entramos en un mundo donde conjurar algo de la nada es posible. Al menos, por un tiempo corto. Eso es porque, a esa escala, partículas como los protones se comportan de acuerdo con las leyes de la naturaleza que llamamos mecánica cuántica. Y realmente pueden aparecer al azar, durar un tiempo, desaparecer de nuevo, y reaparecer en algún otro lugar.

Como sabemos que el universo fue una vez muy pequeño —más pequeño que un protón—, eso significa algo bastante notable. Significa que el universo mismo, en toda su inmensidad y complejidad alucinantes, podría simplemente haber aparecido sin violar las leyes conocidas de la naturaleza. A partir de ese momento, se liberaron grandes cantidades de energía a medida que el espacio se expandía. Un lugar, pues, para almacenar toda la energía negativa necesaria para equilibrar las cuentas, pero, por supuesto, la pregunta crítica sigue siendo: ¿creó Dios las leyes cuánticas que permitieron que ocurriera el Big Bang? En pocas palabras, ¿hace falta un Dios para poder hacer que el Big Bang hubiera estallado? No deseo ofender a ninguna persona de fe, pero creo que la ciencia tiene una explicación más convincente que un creador divino.

La experiencia cotidiana nos hace pensar que todo lo que sucede debe ser causado por algo que ocurrió antes, de manera que nos resulta natural pensar que algo —tal vez Dios— debe haber causado que el universo llegue a existir. Pero cuando hablamos del universo como un todo, eso no es necesariamente así. Déjenme explicar. Imaginemos un río que fluye por la ladera de una montaña. ¿Qué causó el río? Bueno, tal vez la lluvia que cayó antes en las montañas. Pero ¿qué causó la lluvia? Una buena respuesta sería el sol, que brilló sobre el océano, elevó el vapor de agua hacia el cielo y formó nubes. Pero ¿qué hace que el sol brille? Bueno, si nos asomamos a su interior hallamos el proceso conocido como fusión, en la que núcleos de hidrógeno se unen para formar núcleos de helio, liberando grandes cantidades de energía en el proceso. Hasta aquí todo bien. Pero ¿de dónde viene el hidrógeno? Respuesta: del Big Bang. Sin embargo, aquí reside el aspecto crucial. Las leyes de la naturaleza nos dicen que el universo no solo podría haber aparecido sin ayuda, tal como un protón, sin haber requerido nada en

términos de energía, sino que también es posible que nada haya causado el Big Bang. Nada.

La explicación se basa en las teorías de Einstein y sus ideas sobre cómo el espacio y el tiempo están fundamentalmente entrelazados en el universo. En el instante del Big Bang, algo maravilloso sucedió con el tiempo. El tiempo mismo comenzó.

Para entender esa idea alucinante, consideremos un agujero negro flotando en el espacio. Un agujero negro típico es una estrella tan masiva que se ha colapsado sobre sí misma. Es tan masiva, que ni siquiera la luz puede escapar de su gravedad, por lo cual es casi perfectamente negra. Su atracción gravitatoria es tan poderosa que no solo deforma y distorsiona la luz, sino también el tiempo. Para ver cómo, imaginemos que un reloj está siendo absorbido por el agujero negro. A medida que el reloj se va acercando al agujero negro, comienza a ir cada vez más despacio. El tiempo mismo comienza a ralentizarse. Ahora imaginemos que cuando el reloj entra en el agujero negro —suponiendo, desde luego, que pudiera resistir las fuerzas extremas de la gravitación— el tiempo en realidad se detendría, no porque el reloj se haya averiado, sino porque dentro del agujero negro el tiempo no existe. Y eso es exactamente lo que sucedió al comienzo del universo.

En los últimos cien años, hemos hecho progresos espectaculares en nuestra comprensión del universo. Ahora conocemos las leyes que rigen lo que ocurre en todas las condiciones, salvo las más extremas, como el origen del universo o los agujeros negros. Creo que el papel desempeñado por el tiempo en el principio del universo es la clave definitiva para eliminar la necesidad de un gran diseñador y para revelar cómo el universo se creó a sí mismo.

A medida que retrocedemos en el tiempo hacia el momento del Big Bang, el universo se va haciendo más y más y más pequeño, hasta que finalmente llega a un punto donde todo el universo es tan diminuto que en realidad es un agujero negro infinitesimalmente pequeño e infinitamente denso. Y al igual que ocurre con los agujeros negros que hoy flotan en el espacio, las leyes de la naturaleza dictan algo bastante extraordinario. Nos dicen que también aquí, el tiempo debe detenerse. No se puede llegar a un tiempo anterior al Big

Bang porque antes del Big Bang el tiempo no existía. Finalmente hemos encontrado algo que no tiene una causa, porque no existía tiempo alguno en que pudiera haber una causa. Para mí eso significa que no hay posibilidad de un creador, porque no existía tiempo en el que pudiera existir un creador.

¿Cómo encaja la existencia de Dios en su comprensión del inicio y del final del universo? Y si Dios existiera y usted tuviera la oportunidad de encontrarse con él, ¿qué le preguntaría?

La pregunta es: la manera como empezó el universo, ¿fue escogida por Dios por razones que no podemos comprender, o fue determinada por una ley de la ciencia? Creo lo segundo. Si quiere, puede llamar «Dios» a las leyes de la ciencia, pero no sería un Dios personal al que pudiera encontrar y preguntarle. Aunque si hubiera un Dios de ese tipo, me gustaría plantearle cómo se le ocurrió una cosa tan complicada como la teoría M en once dimensiones.

La gente quiere respuestas a las grandes preguntas, como por qué estamos aquí. No esperan que las respuestas sean fáciles y por lo tanto están preparadas para luchar un poco por ellas. Cuando la gente me pregunta si un Dios ha creado el universo, les digo que la pregunta no tiene sentido. Antes del Big Bang el tiempo no existía, y por lo tanto no había un tiempo en que Dios pudiera hacer el universo. Es como buscar cómo se va a los bordes de la Tierra: la Tierra es una esfera sin bordes, por lo cual buscarlos es un ejercicio inútil.

¿Tengo fe? Todos somos libres de creer lo que queramos, y mi opinión es que la explicación más simple es que no hay Dios. Nadie creó el universo y nadie dirige nuestro destino. Eso me lleva a una profunda comprensión: probablemente no haya cielo ni vida futura. Opino que creer en otra vida es tan solo una ilusión. No hay evidencia fiable de ella y va en contra de todo lo que sabemos en ciencia. Creo que cuando morimos volvemos a ser polvo. Pero hay un sentido en aquello que vivimos, en nuestra influencia y en los genes que transmitimos a nuestros hijos. Tenemos esta única vida para

apreciar el gran diseño del universo, y me siento extremadamente agradecido por ello.

2

¿CÓMO EMPEZÓ TODO?



Hamlet dijo: «Podría estar encerrado en una cáscara de nuez y considerarme rey de un espacio infinito». Creo que lo que quería decir es que, aunque los humanos somos físicamente muy limitados, particularmente en mi propio caso, nuestras mentes son libres de explorar todo el universo y de ir con valentía incluso hasta donde Star Trek teme pisar. ¿Es el universo realmente infinito, o tan solo muy grande? ¿Tuvo un comienzo? ¿Durará siempre más o solo mucho tiempo? ¿Cómo pueden nuestras mentes finitas comprender un universo infinito? ¿No resulta pretencioso incluso el hecho de intentarlo?

A riesgo de incurrir en el destino de Prometeo, que robó el fuego de los dioses para que lo utilizaran los humanos, creo que podemos y debemos tratar de entender el universo. Su castigo fue ser encadenado a una roca para toda la eternidad, aunque felizmente fue liberado por Hércules. Ya hemos hecho progresos notables en la comprensión del cosmos, aunque todavía no tenemos una imagen completa de él. Me gusta pensar que quizás no estemos muy lejos de conseguirla.

Según el pueblo de los Boshongo, de África central, al principio solo había la oscuridad, el agua y el gran dios Bumba. Un día Bumba, con dolor

de estómago, vomitó el Sol. El Sol secó parte del agua, dejando al descubierto la tierra. Todavía dolorido, Bumba vomitó la Luna, las estrellas y luego algunos animales: el leopardo, el cocodrilo, la tortuga y, finalmente, el hombre.

Esos mitos de creación, como muchos otros, intentan responder las preguntas que todos nos formulamos. ¿Por qué estamos aquí? ¿De dónde venimos? La respuesta más habitual es que los humanos son de origen relativamente reciente porque es obvio que la especie humana va mejorando en conocimiento y tecnología. Por lo tanto, no puede haber existido desde hace mucho tiempo ya que si fuera así habría progresado mucho más aún. Por ejemplo, según el obispo Ussher, el libro del Génesis sitúa el principio del tiempo en el atardecer del 22 de octubre de 4004 a. C. a las seis de la tarde. En cambio, el entorno físico, como las montañas y los ríos, cambia muy poco en toda la vida de un humano. Por lo tanto, se pensaba que eran un fondo constante y que o bien existió desde siempre como un paisaje vacío, o bien fue creado al mismo tiempo que los humanos.

Sin embargo, no todos se sentían satisfechos con la idea de que el universo hubiera tenido un comienzo. Por ejemplo, Aristóteles, el más famoso de los filósofos griegos, creía que el universo tenía que haber existido siempre. Algo eterno es más perfecto que algo creado. Sugirió que la razón por la que vemos progreso es que se habían ido repitiendo inundaciones u otros desastres naturales, que hacían retroceder la civilización a sus orígenes. La motivación para creer en un universo eterno era el deseo de evitar invocar la intervención divina para crear el universo y ponerlo en marcha. En cambio, los que creían que el universo tuvo un comienzo, lo usaron como argumento para la existencia de Dios como primera causa, o primer motor, del universo.

Si uno creía que el universo tuvo un comienzo, las preguntas obvias eran: ¿Qué sucedió antes del comienzo? ¿Qué estaba haciendo Dios antes de hacer el mundo? ¿Estaba preparando el infierno para las personas que hicieran este tipo de preguntas? El problema de si el universo tuvo o no un comienzo constituyó una gran preocupación para el filósofo alemán Immanuel Kant. Constató que, tanto si lo hubiera tenido como si no, había contradicciones lógicas, o antinomias. Si el universo había tenido un comienzo, ¿por qué

transcurrió un tiempo infinito antes de que comenzara? Llamó a eso la tesis. Por otro lado, si el universo había existido siempre, ¿por qué tardó un tiempo infinito en llegar a la etapa actual? Llamó a eso la antítesis. Tanto la tesis como la antítesis dependían del hecho de que Kant suponía, como casi todos los demás, que el tiempo era absoluto. Es decir, que el tiempo va de un pasado infinito a un futuro infinito independientemente de cualquier universo que haya podido existir o dejado de existir.

Esta sigue siendo la imagen en la mente de muchos científicos hoy en día. Sin embargo, en 1915 Einstein presentó su revolucionaria teoría general de la relatividad. En ella, el espacio y el tiempo no son absolutos ni son un fondo fijo en que se producen los acontecimientos sino magnitudes dinámicas cuya forma depende de la materia y la energía en el universo, y que tan solo están definidas dentro del universo, por lo cual no tiene sentido hablar de tiempo antes de que el universo comenzara. Eso sería como preguntar por un punto al sur del Polo Sur. No está definido.

Aunque la teoría de Einstein unificó el tiempo y el espacio, no nos dice mucho sobre el espacio en sí. Algo que parece obvio sobre el espacio es que sigue y sigue y sigue. No esperamos que el universo termine en una pared de ladrillos, aunque no hay ninguna razón lógica por la que ello no pueda ocurrir. No obstante, instrumentos modernos como el telescopio espacial Hubble nos permiten explorar profundamente en el espacio. Lo que vemos son centenares de miles de millones de galaxias, de diversas formas o tamaños. Hay galaxias elípticas gigantes y galaxias espirales como la nuestra. Cada galaxia contiene centenares de miles de millones de estrellas, muchas de las cuales tienen planetas a su alrededor. Nuestra propia galaxia bloquea nuestra visión en ciertas direcciones, pero, salvo eso, las galaxias se distribuyen aproximadamente de manera uniforme en el espacio, con algunas concentraciones y vacíos locales. La densidad del número de galaxias parece disminuir a distancias muy grandes, pero parece que es simplemente porque están tan lejos y se ven tan débiles que no podemos distinguirlas. Por lo que podemos decir, el universo se prolonga indefinidamente en el espacio, más o menos parecido a como es aquí.

Aunque el universo parece ser muy similar en cada posición en el

espacio, definitivamente cambia en el tiempo. Esto no se observó hasta los primeros años del siglo pasado. Hasta entonces, se creía que el universo era esencialmente constante en el tiempo. Podría haber existido durante un tiempo infinito, pero eso parecía llevar a conclusiones absurdas. Si las estrellas hubieran estado radiando durante un tiempo infinito, habrían calentado el universo hasta su temperatura. Incluso por la noche, todo el cielo sería tan brillante como el Sol, porque cada línea de visión terminaría en una estrella o en una nube de polvo que se habría calentado hasta la temperatura de las estrellas. Entonces, la observación que todos hemos hecho de que el cielo por la noche es oscuro, es muy importante. Implica que el universo no puede haber existido siempre en el estado en que lo vemos hoy. Algo debe haber sucedido en el pasado para hacer que las estrellas se encendieran hace un tiempo finito. Así, la luz de las estrellas muy distantes no habría tenido tiempo de alcanzarnos todavía. Esto explicaría por qué el cielo nocturno no brilla en todas direcciones.

Si las estrellas hubieran estado ahí desde siempre, ¿por qué se iluminaron repentinamente hace unos cuantos miles de millones de años? ¿Qué reloj les indicó que había llegado la hora de brillar? Esto desconcertó a los filósofos que, como Immanuel Kant, creían que el universo había existido siempre. No obstante, para la mayoría de la gente, resultaba consistente con la idea de que el universo había sido creado como es ahora, hace solo unos pocos miles de años, como había concluido el obispo Ussher. Sin embargo, las discrepancias con esta idea comenzaron a aparecer con observaciones del telescopio de cientos de pulgadas del observatorio del Monte Wilson, en la década de 1920. Primero, Edwin Hubble descubrió que muchas manchas de luz muy tenues, llamadas nebulosas, eran de hecho otras galaxias, grandes colecciones de estrellas como nuestro Sol, pero a una gran distancia. Para que parezcan tan pequeñas y débiles, las distancias tenían que ser tan grandes que su luz habría tardado millones o incluso miles de millones de años hasta llegar a nosotros. Esto indicó que el comienzo del universo no podría haberse producido hace tan solo unos miles de años.

Pero la segunda cosa que descubrió Hubble resultó aún más notable. Mediante un análisis de la luz de las galaxias, Hubble pudo medir si se

estaban acercando hacia nosotros o alejándose. Con gran sorpresa, descubrió que casi todas se estaban alejando. Además, cuanto más alejadas estaban, más rápidamente se alejaban. En otras palabras, el universo se está expandiendo. Las galaxias se están alejando las unas de las otras.

El descubrimiento de la expansión del universo fue una de las grandes revoluciones intelectuales del siglo XX. Fue una sorpresa total y cambió por completo la discusión sobre el origen del universo. Si las galaxias se están separando, deben haber estado más juntas en el pasado. A partir de la tasa actual de expansión, podemos estimar que debieron haber estado muy juntas hace de unos diez a unos quince mil millones de años. Parece, pues, que el universo podría haber comenzado en aquella época, con todo su contenido en el mismo punto en el espacio.

No obstante, muchos científicos discrepaban de la idea de que el universo hubiera tenido un comienzo, porque parecía implicar que la física dejaba de ser válida. Uno debería invocar a un agente externo, que a efectos prácticos podemos llamar Dios, para determinar cómo comenzó el universo. Por lo tanto propusieron teorías en las que el universo se estaba expandiendo en el presente, pero no había tenido comienzo. Una de ellas era la teoría del estado estacionario, propuesta por Hermann Bondi, Thomas Gold y Fred Hoyle en 1948.

En la teoría del estado estacionario, la idea era que a medida que las galaxias se separaban, iban apareciendo nuevas galaxias a partir de materia que, según se suponía, se iba creando continuamente en el espacio. El universo habría existido siempre y siempre habría tenido el mismo aspecto. Esta última propiedad tenía la gran virtud de ser una predicción concreta que podría ser sometida a observación. En la década de 1960, el grupo de radioastronomía de Cambridge, dirigido por Martin Ryle, hizo un amplio estudio de radiofuentes. Estas se distribuían de manera bastante uniforme en todo el cielo, lo que indica que la mayoría de las fuentes se encuentran fuera de nuestra galaxia. Las fuentes más débiles estarían más lejos, en promedio.

La teoría del estado estacionario predecía una relación entre la cantidad de fuentes y sus intensidades. Pero las observaciones mostraron más fuentes débiles que las predichas, lo cual indica que la densidad de fuentes fue más

alta en el pasado. Esto entraba en contradicción con la suposición básica de la teoría del estado estacionario de que todo permanecía constante en el tiempo. Por eso, y por otros motivos, la teoría del estado estacionario fue abandonada.

Otro intento de evitar que el universo hubiera tenido un comienzo fue la sugerencia de que había habido una fase previa de contracción, pero que, debido a la rotación y a las irregularidades locales, no todas las galaxias habrían coincidido en el mismo punto. Las diferentes galaxias habrían pasado unas al lado de otras, y el universo se habría vuelto a expandir con densidad siempre finita. De hecho, dos físicos rusos, Yevgueni Lifshits e Isaak Khalatnikov, afirmaron haber demostrado que una contracción general sin simetría exacta siempre conduciría a un rebote, con densidad siempre finita. Este resultado era muy conveniente para el materialismo dialéctico marxista-leninista porque evitaba preguntas incómodas sobre la creación del universo. Por lo tanto, se convirtió en un artículo de fe para los científicos soviéticos.

El comienzo de mi investigación en cosmología se produjo casi al mismo tiempo en que Lifshits y Khalatnikov publicaron su conclusión de que el universo no había tenido un comienzo. Me di cuenta de que esto era una cuestión muy importante, pero no me convencieron los argumentos que Lifshits y Khalatnikov habían usado.

Estamos acostumbrados a la idea de que los sucesos son causados por sucesos anteriores, que a su vez son causados por sucesos aún anteriores. Hay una cadena de causalidades que se remonta al pasado. Pero supongamos que esa cadena tiene un comienzo, supongamos que hubo un primer suceso. ¿Qué lo causó? Esta no era una pregunta que muchos científicos quisieran abordar. Intentaban evitarla, ya sea suponiendo, al igual que los rusos y los teóricos del estado estacionario, que el universo no tuvo comienzo, o sosteniendo que su origen no entra en el ámbito de la ciencia sino que corresponde a la metafísica o la religión. En mi opinión, ningún científico verdadero debería adoptar esa posición. Si las leyes de la ciencia quedan en suspenso al comienzo del universo, es posible que también fallen en otros momentos. Una ley no es una ley si solo se cumple a veces. Creo que deberíamos tratar de entender el comienzo del universo sobre la base de la ciencia. Puede ser una tarea más allá de nuestro alcance, pero al menos deberíamos intentarlo.

Roger Penrose y yo logramos probar teoremas geométricos que demostraban que si la teoría de la relatividad general de Einstein es correcta, y si se satisfacen ciertas condiciones razonables, el universo debe haber tenido un comienzo. Es difícil discutir con un teorema matemático, por lo que al final Lifshits y Khalatnikov admitieron que el universo debería haber tenido un comienzo. Aunque la idea de un principio del universo no fuese bienvenida por las ideas comunistas, nunca se permitió que la ideología se interpusiera en el camino de la física. La física era necesaria para la bomba, y era importante que funcionara. En cambio, la ideología soviética impidió el progreso en biología al negar la verdad de la genética.

Aunque los teoremas que Roger Penrose y yo demostramos pusieron de manifiesto que el universo tuvo que tener un comienzo, no dieron mucha información sobre la naturaleza de dicho comienzo. Indicaban que el universo comenzó en el Big Bang, un instante en que todo el universo, y todo su contenido, se comprimió en un único punto de densidad infinita, una singularidad del espacio-tiempo. En este punto, la teoría de la relatividad general de Einstein habría dejado de ser válida. Por lo tanto, no podemos usarla para decir cómo comenzó el universo. El origen del universo, pues, parece quedar fuera del alcance de la ciencia.

La evidencia observacional para confirmar la idea de que el universo tuvo un comienzo muy denso llegó en octubre de 1965, unos meses después de mi primer resultado sobre la singularidad, con el descubrimiento de un tenue fondo de microondas en el espacio. Esas microondas son las mismas que las de los hornos de microondas, pero mucho menos potentes. Calentarían una pizza tan solo a 270,4 grados Celsius bajo cero, lo cual no es muy adecuado para descongelarla, y mucho menos para cocinarla. Podemos observar esas microondas sintonizando el televisor en un canal vacío. Un pequeño tanto por ciento de la nieve que vemos en la pantalla es debido a ese fondo de microondas. La única interpretación razonable del fondo es que es la radiación remanente de un estado temprano muy caliente y denso. A medida que el universo se expandió, la radiación se habría enfriado hasta reducirse al tenue remanente que actualmente observamos.

Que el universo hubiera comenzado con una singularidad no era una idea

que me gustara, ni a mí ni a muchos otros. La razón por la que la relatividad general de Einstein dejaba de ser válida cerca del Big Bang era que se trata de lo que llamamos una teoría clásica. Es decir, suponía implícitamente lo que parece obvio por el sentido común: que cada partícula tiene una posición y una velocidad bien definidas. En una teoría clásica así, si conociéramos simultáneamente las posiciones y las velocidades de todas las partículas del universo, podríamos calcular dónde estarían en cualquier otro momento, pasado o futuro. Sin embargo, a principios del siglo XX, los científicos descubrieron que no podían calcular exactamente lo que sucedería a distancias muy cortas. No era solo que se necesitaran mejores teorías. Parece que en la naturaleza hay un cierto nivel de aleatoriedad o incertidumbre, que no se puede eliminar por muy buenas que sean las teorías. Eso se puede resumir en el Principio de Incertidumbre, formulado en 1927 por el científico alemán Werner Heisenberg. No es posible predecir con exactitud tanto la posición como la velocidad de una partícula. Cuanto más exactamente se predice la posición, con menor precisión se podrá predecir la velocidad, y viceversa.

Einstein objetó fuertemente la idea de que el universo está gobernado por el azar. Sus sentimientos fueron resumidos en su famoso dicho «Dios no juega a los dados». Pero todas las evidencias apuntan a que Dios es un buen jugador. El universo es como un casino gigante con dados o ruletas rodando. El propietario de un casino corre el riesgo de perder dinero cada vez que se lanza un dado o se hace girar una ruleta. No obstante, en un gran número de apuestas, las probabilidades promedian y el propietario del casino se asegura de que promedien a su favor. Por eso los dueños de casinos son tan ricos. La única posibilidad que tiene de ganar contra ellos es apostar todo su dinero en unos pocos lanzamientos de dados o vueltas de ruleta.

Lo mismo ocurre con el universo. Cuando el universo es grande, hay una gran cantidad de lanzamientos de dados y los resultados promedian a algo que podemos predecir. Pero cuando el universo es muy pequeño, cerca del Big Bang, solo hay una pequeña cantidad de lanzamientos de dados, y el Principio de Incertidumbre resulta muy importante. Para entender el origen del universo, por lo tanto, tenemos que incorporar el Principio de

Incertidumbre en la teoría general de la relatividad de Einstein. Este ha sido el gran desafío en física teórica en los últimos treinta años. Todavía no lo hemos resuelto, pero hemos progresado mucho.

Supongamos ahora que intentamos predecir el futuro. Como solo conocemos cierta combinación de la posición y la velocidad de una partícula, no podemos efectuar predicciones precisas acerca de sus posiciones y velocidades futuras. Solo podemos asignar una probabilidad a combinaciones particulares de posiciones y velocidades. Por lo tanto, hay una cierta probabilidad de un futuro particular de nuestro universo. Pero ahora supongamos que intentamos comprender el pasado de la misma manera.

Dada la naturaleza de las observaciones que podemos llevar a cabo hoy, todo lo que podemos hacer es asignar una probabilidad a una historia particular del universo. Así el universo debe tener cada historia posible, cada una con su propia probabilidad. Debe haber una historia del universo en que Inglaterra vuelve a ganar la Copa del Mundo, aunque tal vez la probabilidad sea baja. La idea de que el universo tiene múltiples historias puede parecer ciencia ficción, pero es ahora aceptada como hecho científico. Es debida a Richard Feynman, que trabajó en el eminentemente respetable Instituto de Tecnología de California, y tocaba a veces los tambores de bongo en un local de carretera. La idea en que se basa el enfoque de Feynman a cómo funcionan las cosas consiste en asignar una probabilidad particular a cada historia. Funciona espectacularmente bien para predecir el futuro, de manera que creemos que también funciona para explorar el pasado.

Actualmente, los científicos están trabajando para combinar la teoría de la relatividad general de Einstein y la idea de Feynman de historias múltiples en una teoría unificada completa que describa todo lo que sucede en el universo. Esa teoría unificada nos permitirá calcular cómo evolucionará el universo, si conocemos su estado en un momento dado. Pero la teoría unificada en sí no dice cómo comenzó el universo, ni cuál fue su estado inicial. Para eso, necesitamos las denominadas condiciones de frontera, que nos dicen lo que sucede en las fronteras del universo, los bordes del espacio y del tiempo. Pero si la frontera del universo fuera un punto normal de espacio y tiempo, podríamos traspasarlo y reclamar el territorio de más allá como parte del

universo. Por otro lado, si el límite del universo estuviera en un borde irregular donde el espacio o el tiempo se arrugaran y la densidad se hiciera infinita, sería muy difícil definir condiciones de frontera significativas.

No obstante, Jim Hartle, de la Universidad de California (Santa Bárbara), y yo nos dimos cuenta de que había una tercera posibilidad. Tal vez el universo no tiene límite en el espacio y el tiempo. A primera vista, esto parece estar en contradicción directa con los teoremas geométricos que mencioné antes, que muestran que el universo debe haber tenido un comienzo, un límite en el tiempo. Sin embargo, para hacer que las técnicas de Feynman resulten matemáticamente bien definidas, los matemáticos desarrollaron un concepto denominado tiempo imaginario. Tiene poco que ver con el tiempo que experimentamos. Es un truco matemático para lograr que los cálculos funcionen y reemplaza el tiempo real que experimentamos. Nuestra idea fue decir que no había frontera en el tiempo imaginario. Llamamos a esta propuesta «ausencia de fronteras».

Si la condición de frontera del universo es que no tiene fronteras en el tiempo imaginario, no tendrá una única historia. Hay muchas historias en el tiempo imaginario y cada una de ellas determina una historia en el tiempo real. Por lo tanto, tenemos una gran abundancia de historias para el universo. ¿Qué distingue una historia particular, o el conjunto de historias en que vivimos, del conjunto de todas las historias posibles del universo?

Un punto que podemos notar es que muchas de esas posibles historias del universo no pasan por la secuencia de formación de galaxias y estrellas, algo que fue esencial para nuestro propio desarrollo. Es posible que seres inteligentes puedan evolucionar sin galaxias y estrellas, pero parece poco probable. Así que el hecho de que existamos como seres que pueden hacerse la pregunta «¿Por qué el universo es como es?» es una restricción sobre la historia en que vivimos. Implica que es una de la minoría de historias que contienen galaxias y estrellas. Este es un ejemplo de lo que se conoce como principio antrópico. El principio antrópico dice que el universo tiene que ser más o menos como lo vemos, porque si fuera diferente no habría nadie para observarlo.

A muchos científicos les desagrada el principio antrópico, porque les

parece poco preciso y sin mucho poder predictivo. Pero el principio antrópico puede recibir una formulación precisa, y parece esencial cuando se considera el origen del universo. La teoría M, que es nuestro mejor candidato para una teoría unificada completa, permite un gran número de historias posibles del universo. La mayoría de esas historias son bastante inadecuadas para el desarrollo de vida inteligente: o están vacías, o duran demasiado poco, o están demasiado curvadas, o fallan de alguna otra manera. Sin embargo, según la idea de múltiples historias de Richard Feynman, esas historias deshabitadas pueden tener una probabilidad bastante alta.

Realmente no nos importa cuántas historias pueda haber que no contengan seres inteligentes. Solo nos interesa el subconjunto de historias en que se desarrolla vida inteligente. La vida inteligente no tiene por qué ser como los humanos. Pequeños hombres verdes también podrían serlo. De hecho, podrían hacerlo mejor: nuestra especie humana no tiene un gran historial en comportamiento inteligente.

Como ejemplo del poder del principio antrópico, consideremos el número de direcciones en el espacio. Es una experiencia común que vivimos en un espacio tridimensional. Es decir, podemos representar la posición de un punto en el espacio mediante tres números, por ejemplo latitud, longitud y altura sobre el nivel del mar. Pero ¿por qué el espacio es tridimensional? ¿Por qué no hay dos, cuatro o algún otro número de dimensiones, como en ciencia ficción? De hecho, en la teoría M el espacio tiene diez dimensiones, pero se cree que siete de ellas están curvadas sobre sí mismas con un radio muy pequeño, dejando tres direcciones grandes y casi planas. Es como una paja de beber: la superficie de una paja es bidimensional, pero una dirección está acurrucada en un círculo pequeño de modo que, de lejos, la paja parece una línea unidimensional.

¿Por qué no vivimos en una historia en que ocho dimensiones estén acurrucadas, dejando solo dos dimensiones extensas? En un animal bidimensional la digestión sería un trabajo difícil. Si tuviera un intestino que lo atravesara, como nosotros, lo dividiría en dos y la pobre criatura se derrumbaría. Así que dos direcciones extensas son insuficientes para una cosa tan complicada como la vida inteligente. Hay algo especial respecto de las

tres dimensiones espaciales. En tres dimensiones, los planetas pueden tener órbitas estables alrededor de las estrellas. Es una consecuencia de que la gravitación obedezca la ley del inverso de los cuadrados, tal como descubrió Robert Hooke en 1665 y desarrolló Isaac Newton. Pensemos en la atracción gravitatoria entre dos cuerpos separados una cierta distancia. Si dicha distancia se duplica, la fuerza se divide por cuatro; si la distancia se triplica, la fuerza se divide por nueve; si se cuadruplica, la fuerza se divide por dieciséis, y así sucesivamente. Eso conduce a órbitas planetarias estables. Pensemos ahora en un universo de cuatro dimensiones espaciales. En él, la gravitación obedecería una ley del inverso de los cubos. Si la distancia entre dos cuerpos se duplicara, la fuerza se dividiría por ocho; si se triplicara, se dividiría por veintisiete; si se cuadruplicara, se dividiría por sesenta y cuatro. Este cambio, una ley del inverso de los cubos, impediría que los planetas tuvieran órbitas estables alrededor de sus soles. O bien caerían a su sol, o escaparían a la oscuridad y frío exteriores. Del mismo modo, las órbitas de los electrones en los átomos no serían estables, así que no existiría la materia tal como la conocemos. Por lo tanto, aunque la idea de historias múltiples permitiría cualquier número de direcciones extensas, únicamente historias con tres direcciones extensas contendrán seres. Solo en tales historias se formulará la pregunta «¿Por qué el espacio tiene tres dimensiones?».

Una característica notable del universo que observamos es el fondo de microondas descubierto por Arno Penzias y Robert Wilson. Es esencialmente un remanente fósil de cuando el universo era muy joven. Ese fondo es casi el mismo independientemente de la dirección en que lo observemos. Las diferencias entre las diferentes direcciones son menores que una parte en 100.000. Esas diferencias son increíblemente diminutas y necesitan alguna explicación. La explicación generalmente aceptada de esa homogeneidad es que en épocas muy tempranas el universo experimentó un período de expansión muy rápida, en que creció en un factor de mil billones de billones. Ese proceso se denomina inflación, algo que fue bueno para el universo, a diferencia de lo que ocurre con la inflación de los precios que tan a menudo nos agobia. Si eso fuera todo, la radiación de microondas sería completamente idéntica en todas direcciones. Así pues, ¿de dónde proceden

esas diminutas discrepancias?

¿Qué había antes del Big Bang?

Según la propuesta de ausencia de fronteras, preguntar lo que había antes del Big Bang carece de sentido —es como preguntar qué hay al sur del Polo Sur— porque no hay noción de tiempo a la que nos podamos referir. El concepto de tiempo solo existe en el universo.

A principios de 1982, escribí un artículo proponiendo que esas diferencias surgieron de las fluctuaciones cuánticas durante el período inflacionario. Las fluctuaciones cuánticas tienen lugar como consecuencia del Principio de Incertidumbre. Además, dichas fluctuaciones fueron las semillas de las estructuras de nuestro universo, de las estrellas de las galaxias y de nosotros mismos. Esa idea es básicamente el mismo mecanismo que la llamada radiación Hawking del horizonte de los agujeros negros, que predije una década antes, excepto que ahora proviene del horizonte cosmológico, la superficie que divide el universo entre la parte que podemos observar y la que no podemos observar. Aquel verano celebramos un congreso en Cambridge, al que asistieron todas las principales figuras en dicho campo. En esa reunión, establecimos la mayor parte de la imagen actual de la inflación, incluidas las importantes fluctuaciones de densidad, que dan lugar a la formación de galaxias, y a nuestra existencia. Diversas personas contribuyeron a la respuesta final. Eso fue diez años antes de que las fluctuaciones en el fondo cósmico de microondas fueran descubiertas por el satélite COBE en 1993, por lo que la teoría iba muy por delante de los experimentos.

La cosmología se convirtió en una ciencia de precisión diez años más tarde, en 2003, con los primeros resultados del satélite WMAP. El WMAP produjo un mapa maravilloso de la temperatura del fondo cósmico de microondas, una instantánea del universo cuando tenía aproximadamente una centésima parte de su edad actual. Las irregularidades que se observan son las predichas por la inflación, y significan que algunas regiones del universo tenían una densidad ligeramente más alta que otras. La atracción gravitatoria

de la densidad adicional ralentiza la expansión de esa región, y puede hacer que acabe por colapsarse formando galaxias y estrellas. Así que observe con atención el mapa del cielo de microondas: es el anteproyecto de toda la estructura en el universo. Somos un producto de las fluctuaciones cuánticas del universo muy temprano. Dios realmente juega a los dados.

El satélite WMAP ha sido sustituido por el satélite Planck, con un mapa del universo de resolución mucho más alta. El satélite Planck está poniendo a prueba nuestras teorías muy seriamente, e incluso puede detectar la impronta de las ondas gravitatorias predichas por la inflación. Esto sería la gravedad cuántica escrita en el cielo.

Puede haber otros universos. La teoría M predice que se crearon muchos universos de la nada, correspondientes a las diferentes historias posibles. Cada universo tiene muchas historias posibles y muchos estados posibles en tiempos ulteriores, es decir, en instantes como el presente, muy posteriores a su creación. La mayoría de esos estados serán bastante diferentes del universo que observamos.

Todavía hay esperanza de que veamos la primera evidencia de la teoría M en el acelerador de partículas LHC en Ginebra. Desde la perspectiva de la teoría M solo detecta bajas energías, pero podríamos estar de suerte y ver una señal más débil de la teoría fundamental, como la supersimetría. Pienso que el descubrimiento de socios supersimétricos de las partículas ya conocidas revolucionaría nuestra comprensión del universo.

En 2012, fue anunciado el descubrimiento del bosón de Higgs en el Gran Colisionador de Hadrones LHC del CERN en Ginebra. Fue el primer descubrimiento de una nueva partícula elemental en el siglo XXI. Todavía hay alguna esperanza de que el LHC descubra la supersimetría. Pero incluso si el LHC no descubre ninguna nueva partícula elemental, la supersimetría todavía podría ser hallada en la próxima generación de aceleradores que actualmente están siendo planeados.

El comienzo del universo en el Big Bang caliente es el laboratorio definitivo de altas energías para poner a prueba la teoría M y nuestras ideas sobre los bloques constituyentes del espacio-tiempo y de la materia. Diferentes teorías dejan huellas diferentes en la estructura actual del universo,

por lo cual los datos astrofísicos pueden darnos pistas acerca de la unificación de todas las fuerzas de la naturaleza. Así que bien puede haber otros universos, pero desgraciadamente nunca podremos explorarlos.

Hemos visto algunas cosas sobre el origen del universo. Pero eso deja dos grandes preguntas. ¿Se acabará el universo? ¿El universo es único?

¿Cuál será el comportamiento futuro de las historias más probables del universo? Ahí parece haber varias posibilidades compatibles con la aparición de seres inteligentes. Dependen de la cantidad de materia en el universo. Si se supera una cierta cantidad crítica, la atracción gravitacional entre las galaxias ralentizará su expansión.

Al final, comenzarán a caer las unas hacia las otras y todas se unirán en una Gran Implosión o Big Crunch, que será el final de la historia del universo, en el tiempo real. Cuando estaba en el Lejano Oriente me pidieron que no mencionara el Big Crunch, por el efecto que pudiera tener en los mercados. Pero los mercados se colapsaron, así que tal vez la historia se produjo, en cierta manera. En Gran Bretaña, la gente no parece demasiado preocupada por un posible fin, situado a unos veinte mil millones de años en el futuro. Se puede comer y beber mucho y ser feliz, antes de eso.

Si la densidad del universo está por debajo del valor crítico, la gravedad es demasiado débil para impedir que las galaxias se sigan separando siempre más. Todas las estrellas se consumirán y el universo se irá quedando más y más vacío, y más y más frío. Entonces, de nuevo, las cosas llegarán a su fin, pero en una forma menos dramática. Aun así, nos quedan algunos miles de millones de años por delante.

En esta respuesta he tratado de explicar algo sobre los orígenes, el futuro y la naturaleza de nuestro universo. En el tiempo imaginario, comenzó como una esfera pequeña y ligeramente aplanada, bastante parecida a la cáscara de nuez con la que comencé el capítulo. Sin embargo, dicha cáscara codifica todo lo que sucede en el tiempo real. Así pues, Hamlet tenía razón. En pocas palabras, podemos estar confinados en una cáscara de nuez sin dejar de considerarnos reyes de un espacio infinito.

3

¿HAY MÁS VIDA INTELIGENTE EN EL UNIVERSO?



Me gustaría especular un poco sobre el desarrollo de la vida en el universo y, en particular, sobre el desarrollo de la vida inteligente. Incluiré en ella la especie humana, a pesar de que gran parte de su comportamiento a lo largo de la historia ha sido bastante estúpido y poco calculado para ayudar a la supervivencia de la especie. Dos preguntas que discutiré son: ¿Existe la posibilidad de que haya vida en otro lugar del universo? y ¿cómo puede la vida desarrollarse en el futuro?

Es una cuestión de experiencia común que las cosas se vuelven más desordenadas y caóticas con el tiempo. Esta observación tiene incluso su propia ley, la llamada segunda ley de la termodinámica. Esta ley dice que la cantidad total de desorden, o entropía, en el universo siempre aumenta con el tiempo. Sin embargo, esta ley se refiere solo a la cantidad total de desorden. El orden en un cuerpo puede aumentar, siempre que la cantidad de desorden en su entorno aumente en una cantidad mayor.

Esto es lo que sucede en los seres vivos. Podemos definir la vida como un sistema ordenado capaz de mantenerse en contra de la tendencia al desorden, y que puede reproducirse a sí mismo. Es decir, puede producir sistemas

ordenados similares a él, pero independientes. Para lograrlo, el sistema debe convertir la energía que recibe en alguna forma ordenada, como alimentos, luz solar o energía eléctrica, en energía desordenada, en forma de calor. De esta manera, el sistema puede satisfacer el requisito de que la cantidad total de desorden aumenta mientras que, al mismo tiempo, aumenta el orden en él y su descendencia. Esto hace pensar en los padres que viven en una casa que se vuelve más y más desordenada cada vez que tienen un nuevo bebé.

Un ser vivo como usted o como yo usualmente tiene dos elementos: un conjunto de instrucciones que le dicen cómo continuar vivo y cómo reproducirse, y un mecanismo para llevar a cabo esas instrucciones. En biología, esos dos elementos se llaman genes y metabolismo. Pero debemos enfatizar que nada en ellos es exclusivo de la biología. Por ejemplo, un virus informático es un programa que hace copias de sí mismo en la memoria de un ordenador y las transfiere a otros ordenadores. Por lo tanto, se ajusta a la definición que acabo de dar de sistema vivo. Como los virus biológicos, es una forma bastante degenerada, porque contiene solo instrucciones o genes y carece de metabolismo propio, pero reprograma el metabolismo del ordenador o de la célula anfitriona. Algunas personas han cuestionado si los virus deberían ser considerados como vida, porque son parásitos y no pueden existir independientemente de sus anfitriones, si bien la mayoría de las formas de vida, incluidos nosotros, somos parásitos, en el sentido de que nos alimentamos y dependemos para nuestra supervivencia de otras formas de vida. Creo que los virus informáticos deberían ser considerados como vida. Quizás dice algo sobre la naturaleza humana que la única forma de vida que hemos sido capaces de crear hasta ahora sea puramente destructiva. Habla elocuentemente de lo que es crear vida a nuestra propia imagen. Volveré a tratar el tema de las formas de vida electrónicas más adelante.

Lo que normalmente consideramos como «vida» se basa en cadenas de átomos de carbono, con algunos otros átomos, como nitrógeno o fósforo. Podemos especular si podría haber vida con alguna otra base química, como el silicio, pero el carbono parece el caso más favorable, porque tiene la química más rica. Que los átomos de carbono puedan existir en absoluto, con las propiedades que tienen, requiere un ajuste fino de las constantes físicas,

como la escala de la cromodinámica cuántica, la carga eléctrica e incluso la dimensionalidad del espacio-tiempo. Si esas constantes tuvieran valores significativamente diferentes, el núcleo del átomo de carbono no sería estable, o los electrones se colapsarían en el núcleo. A primera vista, parece notable que el universo esté tan finamente sintonizado. Tal vez esto es evidencia de que el universo fue especialmente diseñado para producir la especie humana. Sin embargo, tenemos que ir con cuidado con tales argumentos, que se conocen como Principio Antrópico. Este principio se basa en la evidencia de que si el universo no hubiera sido adecuado para la vida, no estaríamos aquí, preguntándonos por qué está equilibrado tan finamente. Podemos aplicar el Principio Antrópico en sus versiones fuerte o débil. El principio antrópico fuerte supone que hay muchos universos diferentes, cada uno con valores distintos de las constantes físicas. En un número pequeño de tales universos, los valores permitirán la existencia de objetos como los átomos de carbono, que pueden actuar como bloques de construcción de los sistemas vivos. Como debemos vivir en uno de esos universos, no debería sorprendernos que las constantes físicas estén finamente sintonizadas. Si no lo estuvieran, no estaríamos aquí. La forma fuerte del Principio Antrópico no es muy satisfactoria. ¿Qué significado operacional se puede dar a la existencia de todos esos otros universos? Y si están separados de nuestro propio universo, ¿cómo puede afectar a nuestro universo lo que en ellos ocurra? En su lugar, adoptaré lo que se conoce como el Principio Antrópico débil, es decir, tomaré los valores de las constantes físicas como ya dados, y examinaré qué conclusiones se puede extraer del hecho de que la vida existe en este planeta y en esta etapa de la historia del universo.

Cuando el universo comenzó en el Big Bang, hace unos 13.800 millones de años, no había carbono. Hacía tanto calor que toda la materia estaba en forma de partículas, llamadas protones y neutrones. Inicialmente habría habido la misma cantidad de protones y de neutrones. Sin embargo, cuando el universo se expandió, se enfrió. Alrededor de un minuto después del Big Bang, la temperatura habría caído a alrededor de mil millones de grados, unas cien veces la temperatura en el centro del Sol. A esta temperatura, los neutrones comienzan a descomponerse en protones.

Si eso hubiera sido todo lo que sucedió, toda la materia en el universo habría terminado como el elemento más simple, el hidrógeno, cuyo núcleo consiste en un único protón. No obstante, algunos de los neutrones chocaron con protones y se unieron a ellos para formar el siguiente elemento más simple, el helio, cuyo núcleo se compone de dos protones y dos neutrones. Pero en el universo primitivo no se habrían formado elementos más pesados que este, como por ejemplo el carbono o el oxígeno. Es difícil imaginar que se pudiera construir un sistema vivo con solo hidrógeno y helio y, de todos modos, el universo temprano todavía estaba demasiado caliente para que los átomos se combinaran en moléculas.

El universo continuó expandiéndose y enfriándose. Pero algunas regiones tenían densidades ligeramente más altas que otras y la atracción gravitacional de la materia extra en esas regiones redujo el ritmo de la expansión y finalmente la detuvo, y se colapsaron para formar galaxias y estrellas, unos dos mil millones de años después del Big Bang. Algunas de las primeras estrellas habrían sido más masivas que nuestro Sol; habrían estado más calientes que el Sol y habrían convertido el hidrógeno y el helio originales en elementos más pesados, como carbono, oxígeno y hierro. Esto podría haber tomado solo unos pocos cientos de millones de años. Después de esto, algunas de las estrellas explotaron como supernovas y esparcieron los elementos pesados en el espacio, formando así la materia prima para las generaciones posteriores de estrellas.

Las otras estrellas están demasiado lejos para que podamos ver directamente si tienen planetas girando en torno a ellas. Sin embargo, hay dos técnicas que nos han permitido descubrir planetas alrededor de otras estrellas. La primera consiste en observar la estrella y ver si la cantidad de luz que nos llega de ella permanece constante. Si un planeta se mueve por delante de la estrella, la luz de la estrella quedará ligeramente interceptada y la estrella se oscurecerá un poco. Si eso ocurre con regularidad es porque la órbita de un planeta lo está haciendo pasar repetidamente por delante de la estrella. Una segunda técnica consiste en medir con precisión la posición de la estrella. Si algún planeta orbita a su alrededor, inducirá un pequeño bamboleo en la posición de esta. Esto puede ser observado y, de nuevo, si el bamboleo es

regular, se deduce que es debido a que algún planeta gira en torno de la estrella. Esos métodos fueron aplicados por primera vez hace unos veinte años y hasta ahora han sido descubiertos unos pocos miles de planetas girando alrededor de estrellas distantes. Se estima que una de cada cinco estrellas tiene un planeta de tamaño parecido al de la Tierra girando a una distancia de la estrella compatible con la vida, tal como la conocemos. Nuestro sistema solar se formó hace unos cuatro mil quinientos millones de años, o aproximadamente unos nueve mil millones de años después del Big Bang, a partir de gas contaminado con los restos de estrellas anteriores. La Tierra se formó en gran parte a partir de elementos más pesados, incluido el carbono y el oxígeno. De alguna manera, algunos de esos átomos llegaron a organizarse en forma de moléculas de ADN, que tienen la famosa forma de doble hélice descubierta en la década de 1950 por Francis Crick y James Watson en un cobertizo en el emplazamiento del actual Museo Nuevo de Cambridge. Las dos cadenas helicoidales están unidas entre sí mediante pares de bases nitrogenadas. Hay cuatro tipos de bases nitrogenadas: adenina, citosina, guanina y timina. Una adenina de una cadena siempre se combina con una timina de la otra cadena, y una guanina con una citosina. Por lo tanto, la secuencia de bases de una cadena define una secuencia complementaria única de la otra cadena. Las dos cadenas pueden separarse y actuar cada una como plantillas para construir cadenas adicionales. Por lo tanto, las moléculas de ADN pueden reproducir la información genética codificada en sus secuencias de bases nitrogenadas. Fragmentos de la secuencia pueden ser utilizados para fabricar proteínas y otros productos químicos, que pueden llevar a cabo las instrucciones codificadas en la secuencia y ensamblar la materia prima para que el ADN se reproduzca.

Como he dicho, no sabemos cómo aparecieron las moléculas de ADN por primera vez. Como la probabilidad de que una molécula de ADN surja por fluctuaciones aleatorias es muy pequeña, algunas personas han sugerido que la vida llegó a la Tierra desde otro lugar, por ejemplo traída por rocas que se desprendieron de Marte mientras los planetas aún eran inestables, y que hay semillas de vida flotando por doquier en la galaxia. Sin embargo, parece poco probable que el ADN pueda sobrevivir mucho tiempo en la radiación del

espacio.

Si la aparición de la vida en un planeta determinado es muy poco probable, se podría haber esperado que hubiera tardado en producirse lo más posible, compatible con el tiempo necesario para la evolución posterior hacia seres inteligentes, como nosotros, antes de que el Sol se dilate y engulla la Tierra. La ventana temporal en la que el inicio de la vida podría haber ocurrido es el tiempo de vida del Sol, eso es, alrededor de diez mil millones de años. Durante ese tiempo, una forma inteligente de vida podría llegar a dominar la técnica de los viajes espaciales y trasladarse a otra estrella. Pero si no consiguiera escapar, la vida en la Tierra estaría condenada al fracaso.

Hay evidencia fósil de que había alguna forma de vida en la Tierra hace unos tres mil quinientos millones de años, tan solo unos quinientos millones de años después de que la Tierra se volviera estable y se enfriara lo suficiente para que la vida pudiera desarrollarse. Pero en vez de eso la vida podría haber tardado siete mil millones de años en desarrollarse, y aún le habría quedado mucho tiempo para evolucionar a seres como nosotros, que pudieran preguntarse por el origen de la vida. Si la probabilidad de que la vida se desarrolle en un planeta dado es muy pequeña, ¿por qué sucedió en la Tierra en una decimocuarta parte del tiempo disponible?

La aparición temprana de la vida en la Tierra sugiere que hay buenas posibilidades de generación espontánea de vida en condiciones adecuadas. Tal vez hubo alguna forma anterior más simple de organización que construyó posteriormente el ADN. Una vez que apareció el ADN, hubiera resultado tan exitoso que pudo haber reemplazado por completo las formas de vida anteriores. No sabemos cuáles habrían sido tales formas, pero una posibilidad es el ARN.

El ARN es como el ADN, pero más simple y sin la estructura de doble hélice. Cadenas cortas de ARN podrían reproducirse como el ADN y al fin podrían acumularse en el ADN. No podemos producir ácidos nucleicos en el laboratorio a partir de material no vivo, y mucho menos ARN. Pero en quinientos millones de años y dada la inmensidad de los océanos que cubren la mayor parte de la Tierra, podría haber una probabilidad razonable de que el ARN se produjera por azar.

A medida que el ADN se fue reproduciendo a sí mismo, habría habido errores aleatorios, muchos de los cuales habrían sido dañinos y se habrían extinguido. Algunos habrían sido neutros y no habrían afectado la función del gen. Y algunos errores habrían sido favorables para la supervivencia de la especie y habrían sido elegidos por la selección natural darwiniana.

Al principio, el proceso de evolución biológica fue muy lento. Se tardó dos mil quinientos millones de años en evolucionar de las células más antiguas a organismos multicelulares. Sin embargo, se tardó menos de mil millones de años adicionales en evolucionar hasta los peces, y unos quinientos millones en evolucionar de los peces hasta los mamíferos. Pero luego la evolución parece haberse acelerado aún más. Solo se tardó unos cien millones de años en pasar desde los primeros mamíferos hasta nosotros. La razón es que los mamíferos primitivos ya contenían esencialmente la mayoría de nuestros órganos importantes. Todo lo que se requería para evolucionar desde los primeros mamíferos hasta los humanos fue un poco de ajuste fino.

Pero con la especie humana la evolución alcanzó una etapa crítica, comparable en importancia con el desarrollo del ADN: el desarrollo del lenguaje, y particularmente el lenguaje escrito, que significa que la información puede transmitirse de generación en generación de otra forma que genéticamente mediante el ADN. Ha habido algunos cambios detectables en el ADN humano, provocados por la evolución biológica, en los diez mil años de historia registrada, pero la cantidad de conocimiento transmitido de generación en generación ha crecido enormemente. Yo he escrito libros para contar algo de lo que he aprendido sobre el universo en mi larga carrera como científico, y al hacerlo estoy transfiriendo el conocimiento de mi cerebro a la página para que usted pueda leerlo.

El ADN en un óvulo o un espermatozoide humanos contiene aproximadamente tres mil millones de pares de bases nitrogenadas. Sin embargo, gran parte de la información codificada en esta secuencia parece ser redundante o estar inactiva. Entonces, la cantidad total de información útil en nuestros genes es probablemente algo así como cien millones de bits. Un bit de información es la respuesta a una pregunta de sí o no. Como una novela de bolsillo puede contener unos dos millones de bits de información, un ser

humano es equivalente a unos cincuenta libros de Harry Potter y una gran biblioteca nacional puede contener alrededor de cinco millones de libros, o aproximadamente diez mil millones de bits. La cantidad de información transmitida en libros o por Internet es unas cien mil veces mayor que en el ADN.

Aún más importante es el hecho de que la información en los libros se puede cambiar y actualizar mucho más rápidamente. Ha costado varios millones de años evolucionar desde los simios. Durante ese tiempo, la información útil en nuestro ADN probablemente ha cambiado solo en unos pocos millones de bits, por lo que la tasa de evolución biológica en humanos es aproximadamente un bit por año. En cambio, aparecen aproximadamente 50.000 nuevos libros publicados en inglés cada año, que contienen del orden de cien mil millones de bits de información. Por supuesto, la gran mayoría de esta información es basura y no sirve para ninguna forma de vida, pero aun así la velocidad con la que la información útil se puede agregar es de millones, incluso de miles de millones, más alta que con el ADN.

Esto significa que hemos entrado en una nueva fase de la evolución. Al principio, la evolución procedió por selección natural —a partir de mutaciones aleatorias—. Esta fase darwiniana duró aproximadamente tres mil quinientos millones de años y produjo seres que desarrollaron el lenguaje para intercambiar información. Pero en los últimos diez mil años, más o menos, hemos estado en lo que podría ser llamada una fase de transmisión externa. En esta etapa, el registro interno de información transmitido a las generaciones posteriores en el ADN ha cambiado un poco. Pero el registro externo —en libros y otras formas de almacenamiento de larga duración—, ha crecido enormemente.

Algunas personas usarían el término «evolución» solo para el material genético transmitido internamente y se opondrían a que se aplicara a la información transmitida externamente, pero creo que es una visión demasiado estrecha. Somos más que nuestros genes. Puede que no seamos inherentemente más fuertes o más inteligentes que nuestros antepasados cavernícolas, pero lo que nos distingue de ellos es el conocimiento que hemos acumulado durante los últimos diez mil años, y particularmente durante los

últimos trescientos. Creo que es legítimo tener una visión más amplia, e incluir la información transmitida externamente, así como también la del ADN, en la evolución de la especie humana.

La escala de tiempo para la evolución, en el período de transmisión externa, es la escala de tiempo para la acumulación de información, que solía ser de cientos, o incluso de miles, de años. Pero ahora esa escala de tiempo se ha reducido a unos cincuenta años o menos. En cambio, los cerebros con que procesamos esa información han evolucionado en la escala de tiempo darwiniana, de cientos de miles de años. Esto comienza a causar problemas. En el siglo XVIII, se dijo que había un hombre que había leído todos los libros escritos. Pero actualmente, si leyera un libro por día, tardaría unos 15.000 años en leer los libros en una Biblioteca Nacional. Y en ese tiempo, se habrían escrito muchos más libros.

Si hay vida inteligente en algún otro lugar que en la Tierra, ¿será semejante a las formas que conocemos, o será diferente?

¿Hay vida inteligente en la Tierra? Pero, hablando en serio, si hay vida inteligente en algún otro lugar, debe ser a una distancia muy grande, ya que de otro modo ya hubieran visitado la Tierra. Y creo que sabríamos bien que la habían visitado: habría sido como en la película Independence Day.

Esto significa que nadie puede dominar más que un pequeño rincón del conocimiento humano. Tenemos que especializarnos en campos cada vez más estrechos. Es probable que eso sea una gran limitación en el futuro. Ciertamente no podemos continuar por mucho tiempo con la tasa de crecimiento exponencial del conocimiento que hemos tenido en los últimos trescientos años. Una limitación y un peligro aún mayores para las generaciones futuras son que todavía tenemos los instintos, y en particular los impulsos agresivos, que tuvimos en los días del hombre de las cavernas. La agresión, en la forma de subyugar o matar a otros hombres y tomar sus mujeres y su comida, ha tenido ventajas para la supervivencia hasta el

momento presente, pero ahora podría destruir a toda la especie humana y gran parte del resto de la vida en la Tierra. Una guerra nuclear sigue siendo el peligro más inmediato, pero hay otros, como liberar un virus genéticamente modificado, o que el efecto invernadero se acelere.

No hay tiempo para esperar a que la evolución darwiniana nos haga más inteligentes y afables. Pero ahora estamos entrando en una nueva fase de lo que podríamos llamar evolución autodiseñada, en la que podremos cambiar y mejorar nuestro ADN. Ahora hemos mapeado el ADN, lo que significa que hemos leído «el libro de la vida» y podemos comenzar a escribir correcciones en él. Al principio, esos cambios se limitarán a la reparación de defectos genéticos, como la fibrosis quística y la distrofia muscular, que están controladas por un solo gen cada una, por lo que son bastante fáciles de identificar y corregir. Otras cualidades, como la inteligencia, probablemente estén controladas por un gran número de genes, y será mucho más difícil encontrarlos y resolver las relaciones entre ellos. Sin embargo, estoy seguro de que durante este siglo descubriremos cómo modificar tanto la inteligencia como los instintos, por ejemplo el de la agresividad.

Probablemente, se aprobarán leyes contra la ingeniería genética con humanos, pero algunas personas no podrán resistir la tentación de mejorar las características humanas, como el tamaño de la memoria, la resistencia a enfermedades y la duración de la vida. Una vez que aparezcan los superhumanos, surgirán problemas políticos importantes con los humanos no mejorados, que no podrán competir con ellos. Presumiblemente, morirán o perderán importancia. En cambio, habrá una carrera de seres autodiseñados, que se irán mejorando a un ritmo cada vez mayor.

Si la especie humana consigue rediseñarse a sí misma para reducir o eliminar el riesgo de destrucción suicida, probablemente se extenderá y colonizará otros planetas y estrellas. Sin embargo, los viajes espaciales a larga distancia serán difíciles para las formas de vida como nosotros, basadas en la química, en el ADN. La vida natural de tales seres es corta en comparación con el tiempo de viaje. Según la teoría de la relatividad, nada puede viajar más rápido que la luz, por lo que un viaje de ida y vuelta a la estrella más cercana tomaría al menos ocho años, y al centro de la galaxia

unos cincuenta mil años. En la ciencia ficción, superan esta dificultad con curvaturas del espacio o viajando a través de dimensiones adicionales, pero no creo que esto llegue a ser posible, por muy inteligente que llegue a ser la vida. En la teoría de la relatividad, si se puede viajar más rápido que la luz, también se puede retroceder en el tiempo, y eso llevaría a problemas con la gente que regresa y cambia el pasado. También esperaríamos haber visto un gran número de turistas del futuro, movidos por la curiosidad de ver nuestras formas de vida pintorescas y pasadas de moda.

Tal vez sea posible utilizar la ingeniería genética para hacer que la vida basada en ADN sobreviva indefinidamente, o al menos cien mil años. Pero una manera más fácil, que ya casi está a nuestro alcance, sería enviar máquinas. Estas podrían diseñarse para durar mucho, lo suficiente para viajes interestelares. Cuando llegaran a una nueva estrella, podrían aterrizar en un lugar adecuado de un planeta y excavar minas para conseguir material para producir más máquinas, que podrían enviarse a más estrellas. Tales máquinas serían una nueva forma de vida, basada en componentes mecánicos y electrónicos, en lugar de en macromoléculas. Podrían llegar a reemplazar la vida basada en ADN, al igual que el ADN puede haber reemplazado una forma de vida anterior.

•

¿Cuáles son las posibilidades de que encontremos alguna forma de vida alienígena mientras exploramos la galaxia? Si el argumento sobre la escala de tiempo para la aparición de la vida en la Tierra es correcto, debería haber muchas otras estrellas cuyos planetas alberguen vida. Algunos de esos sistemas estelares podrían haberse formado cinco mil millones de años antes de la Tierra, entonces ¿por qué la galaxia no está repleta de formas de vida mecánicas o biológicas? ¿Por qué la Tierra no ha sido visitada e incluso colonizada? Por cierto, descarto las sugerencias de que los ovnis contengan seres del espacio exterior, ya que creo que cualquier visita de extraterrestres sería mucho más manifiesta y probablemente, también, mucho más desagradable.

Entonces, ¿por qué no nos han visitado? Tal vez la probabilidad de que la vida aparezca espontáneamente es tan baja que la Tierra es el único planeta en la galaxia —o en el universo observable— en el cual sucedió. Otra posibilidad es que la probabilidad de que se formaran sistemas capaces de autorreproducirse, como por ejemplo las células, fuera razonable pero que la mayoría de esas formas de vida no evolucionaran hasta la inteligencia. Estamos acostumbrados a pensar en la vida inteligente como una consecuencia inevitable de la evolución, pero ¿y si no lo es? El Principio Antrópico debería hacernos desconfiar de tales argumentos. Es más probable que la evolución sea un proceso aleatorio, con la inteligencia como una posibilidad entre muchos otros resultados posibles.

Ni siquiera está claro que la inteligencia tenga un valor de supervivencia a largo plazo. Las bacterias y otros organismos unicelulares podrían continuar viviendo aunque todas las otras formas de vida fueran eliminadas por nuestras actuaciones. Para la vida en la Tierra, la inteligencia tal vez fue un desarrollo poco probable, ya que en la cronología de la evolución se tardó mucho tiempo, dos mil quinientos millones de años, en pasar de seres unicelulares a seres multicelulares, que son un precursor necesario para la inteligencia. Como esa es una buena fracción del tiempo total disponible antes de que el Sol explote, sería consistente con la hipótesis de que la probabilidad de que la vida llegue a la inteligencia es baja. Si fuera así, quizás podríamos encontrar muchas otras formas de vida en la galaxia pero sería poco probable que encontráramos vida inteligente.

Otra razón por la cual la vida podría no alcanzar una etapa inteligente sería que un asteroide o un cometa chocaran con el planeta. En 1994, observamos cómo la colisión del cometa Shoemaker-Levi con Júpiter produjo una serie de bolas de fuego enormes. Se cree que la colisión de un cuerpo bastante más pequeño con la Tierra, hace unos sesenta y cinco millones de años, provocó la extinción de los dinosaurios. Algunos pequeños mamíferos primitivos sobrevivieron, pero cualquier organismo del tamaño de un ser humano habría sido aniquilado casi con seguridad. Es difícil decir cuán a menudo se producen tales colisiones pero una conjetura razonable podría ser cada veinte millones de años, en promedio. Si esta cifra es correcta,

significaría que la vida inteligente en la Tierra se ha desarrollado gracias a que no haya habido colisiones importantes en los últimos millones de años. Es posible que otros planetas de la galaxia en los que se desarrolló la vida no hayan tenido un tiempo sin colisiones suficientemente largo para desarrollar seres inteligentes.

Una tercera posibilidad es que hay una probabilidad razonable de que la vida se forme y evolucione a seres inteligentes, pero que el sistema se vuelva inestable y la vida inteligente se destruya a sí misma. Esta sería una conclusión muy pesimista y espero sinceramente que no sea verdad.

Prefiero una cuarta posibilidad: que haya otras formas de vida inteligente, pero que hemos sido pasados por alto. En 2015 participé en el lanzamiento de la iniciativa Breakthrough-listen, que utiliza observaciones de ondas de radio para buscar vida inteligente extraterrestre y tiene instalaciones actualizadas, financiación generosa y miles de horas de observación reservadas en radiotelescopios. Se trata del mayor programa de investigación dedicado hasta ahora a buscar evidencias de civilizaciones más allá de la Tierra. Breakthrough Message es un concurso internacional para crear mensajes que puedan ser leídos por civilizaciones avanzadas. Pero debemos ser cautelosos de responder hasta que nos hayamos desarrollado un poco más. Un encuentro con una civilización más avanzada, en nuestra etapa actual, podría resultar un poco como cuando los habitantes originales de América conocieron a Colón (y no creo que pensaran que mejoraron con ello).

4

¿PODEMOS PREDECIR EL FUTURO?



En la antigüedad, el mundo debía parecer bastante arbitrario. Desastres como inundaciones, plagas, terremotos o volcanes ocurrían sin previo aviso ni razón aparente. Los antiguos atribuyeron esos fenómenos naturales a un panteón de dioses y diosas que se comportaban de manera caprichosa. No había forma de predecir lo que harían, y la única esperanza era ganar su favor con regalos o acciones. Muchas personas aún suscriben parcialmente esa creencia e intentan llegar a un pacto con la fortuna. Ofrecen hacer ciertas cosas tan solo si consiguen un sobresaliente en una asignatura o aprueban el examen del carnet de conducir.

Sin embargo, gradualmente la gente fue advirtiendo ciertas regularidades en el comportamiento de la naturaleza. Esas regularidades resultaron más obvias en el movimiento de los cuerpos celestes. La astronomía fue pues la primera ciencia que se desarrolló. Su base matemática fue asentada por Newton hace más de trescientos años y todavía usamos su teoría de la gravedad para predecir el movimiento de casi todos los cuerpos celestes. Siguiendo el ejemplo de la astronomía, se descubrió que otros fenómenos naturales también obedecían leyes científicas definidas. Esto condujo a la

idea del determinismo científico, que parece haber sido expresada públicamente por el científico francés Laplace. Me gustaría citar las palabras reales de Laplace pero Laplace se parecía bastante a Proust, ya que escribía frases de una longitud y complejidad desmesuradas. Por lo tanto, he decidido parafrasear la cita. En efecto, dijo que si en algún instante conociéramos las posiciones y velocidades de todas las partículas del universo, podríamos calcular su comportamiento en cualquier otro momento pasado o futuro. Circula una historia probablemente apócrifa según la cual cuando Napoleón preguntó a Laplace cómo encajaba Dios en ese sistema, él respondió: «Señor, no he necesitado esa hipótesis». No creo que Laplace estuviera afirmando que Dios no existía, sino solo que no interviene para violar las leyes de la ciencia. Esa debe ser la posición de todo científico. Una ley científica no es una ley científica si solo se cumple cuando algún ser sobrenatural decide dejar que las cosas funcionen, y no intervenir.

La idea de que el estado del universo en un cierto momento determina el estado en todos los demás momentos ha sido un principio central de la ciencia desde la época de Laplace. Implica que podemos predecir el futuro, al menos en principio. En la práctica, sin embargo, nuestra capacidad para pronosticar el futuro queda drásticamente limitada por la complejidad de las ecuaciones, y por el hecho de que a menudo tienen una propiedad llamada caos. Como saben los que han visto la película Parque Jurásico, esto significa que una pequeña perturbación en un lugar puede causar un cambio importante en otro. Una mariposa batiendo las alas puede hacer que llueva en Central Park, Nueva York. El problema es que eso no es repetible. La próxima vez que la mariposa mueva las alas, una gran cantidad de cosas pasarán de forma diferente, que también influirán en el tiempo. Por eso, las predicciones meteorológicas son tan poco fiables.

A pesar de esas dificultades prácticas, el determinismo científico siguió siendo el dogma oficial durante todo el siglo XIX. Sin embargo, en el siglo XX hubo dos desarrollos que mostraron que la visión de Laplace de una predicción completa del futuro no se puede realizar. El primero de esos desarrollos fue lo que se llama mecánica cuántica. Dicha teoría fue presentada en 1900, por el físico alemán Max Planck como una hipótesis ad

hoc para resolver una paradoja notable. Según las ideas clásicas del siglo XIX, que datan de Laplace, un cuerpo caliente, como un fragmento de metal al rojo vivo, debería emitir radiación. Perdería energía en ondas de radio, infrarrojos, luz visible, ultravioletas, rayos X y rayos gamma, todo con el mismo ritmo. Esto no solo significaría que todos moriríamos de cáncer de piel, sino también que todo en el universo estaría a la misma temperatura, lo que claramente no ocurre.

Sin embargo, Planck demostró que se podría evitar ese desastre si se renunciara a la idea de que la cantidad de radiación pueda tener cualquier valor, y se postulara en cambio que la radiación solo viene en paquetes o cuantos de un cierto tamaño. Es como decir que en el supermercado no se puede comprar azúcar suelto sino solo en bolsas de kilogramo. La energía en los paquetes o cuantos es más alta para los rayos ultravioleta y rayos X que para la luz infrarroja o visible. Significa que, a menos que un cuerpo esté muy caliente, como el Sol, no tendrá suficiente energía para emitir ni tan siquiera un solo quantum de radiación ultravioleta o de rayos X. Por eso una taza de café no nos produce quemaduras solares.

Planck consideraba la idea de los cuantos como un simple truco matemático y no como un realidad física, sea lo que sea lo que eso signifique. Sin embargo, los físicos comenzaron a buscar otros comportamientos que podrían explicarse solo en términos de cantidades discretas o valores cuantizados, en lugar de valores continuamente variables. Por ejemplo, se encontró que las partículas elementales se comportan como pequeñas peonzas girando alrededor de un eje. Pero la cantidad de rotación no puede tener cualquier valor, sino que tiene que ser un múltiplo de una unidad básica. Como esa unidad es muy pequeña, no observamos que una peonza normal se ralentice realmente en una secuencia rápida de pasos discretos y no en un proceso continuo. No obstante, para peonzas pequeñas como los átomos, la naturaleza discreta de su rotación es muy importante.

Transcurrió algún tiempo antes de que se advirtiera las implicaciones de ese comportamiento cuántico para el determinismo. No fue sino hasta 1927 que Werner Heisenberg, otro físico alemán, señaló que no se podía medir simultánea y exactamente la posición y la velocidad de una partícula. Para

ver dónde está una partícula hay que iluminarla. Pero según el trabajo de Planck, no se puede usar una cantidad arbitrariamente pequeña de luz. Se tiene que usar al menos un cuanto. Este perturbará la partícula y cambiará su velocidad de una manera que no puede predecirse. Para medir con precisión la posición de la partícula, se tendrá que usar luz de longitud de onda corta, como por ejemplo rayos ultravioleta, rayos X o gamma. Pero, de nuevo, según el trabajo de Planck, los cuanta de esas formas de luz tienen energías más altas que los de la luz visible. Por lo tanto, alterarán más la velocidad de la partícula. Es una situación en la que nunca se gana: cuanto más exactamente se intenta medir la posición de la partícula, con menor precisión se puede conocer la velocidad, y viceversa. Esto se resume en el Principio de Incertidumbre formulado por Heisenberg; la incertidumbre en la posición de una partícula, multiplicada por la incertidumbre en su velocidad, es siempre mayor que una cantidad llamada la constante de Planck, dividida por la masa de la partícula.

La visión de Laplace del determinismo científico implicaba conocer las posiciones y velocidades de las partículas del universo en un cierto instante. Así que quedó seriamente socavada por el Principio de Incertidumbre de Heisenberg. ¿Cómo se puede predecir el futuro cuando ni siquiera podemos medir con precisión las posiciones y las velocidades de las partículas en el presente? No importa cuán poderoso sea un ordenador; si le introducimos datos deficientes obtendremos predicciones deficientes.

Einstein estaba muy descontento con esa aparente aleatoriedad en la naturaleza. Su punto de vista quedó resumido en su famoso dicho «Dios no juega a los dados». Le parecía intuir que la incertidumbre era solo provisional y que había una realidad subyacente en la que las partículas tendrían posiciones y velocidades bien definidas, y que evolucionaría de acuerdo con leyes deterministas en el espíritu de Laplace. Esa realidad podría ser conocida por Dios, pero la naturaleza cuántica de la luz nos impediría verla, excepto a través de un cristal oscuro.

La visión de Einstein era lo que ahora llamamos teoría de variables ocultas. Las teorías de variables ocultas parecen ser la forma más obvia de incorporar el Principio de Incertidumbre en física. Forman la base de la

imagen mental del universo sostenida por muchos científicos y casi todos los filósofos de la ciencia. Pero las teorías de variables ocultas son incorrectas. El físico británico John Bell ideó una prueba experimental capaz de falsarlas. Cuando el experimento se llevó a cabo con cuidado, los resultados fueron inconsistentes con las variables ocultas. Parece que incluso Dios está sujeto al Principio de Incertidumbre y no puede conocer la posición y la velocidad de una partícula simultáneamente. Así pues, Dios sí juega a dados con el universo. Toda la evidencia apunta a que es un jugador inveterado, que arroja los dados cada vez que se le presenta la ocasión.

Otros científicos estaban mucho más preparados que Einstein para modificar el punto de vista clásico del determinismo del siglo XIX. Una nueva teoría, la mecánica cuántica, fue formulada por Heisenberg, por Erwin Schrödinger, de Austria, y por el físico británico Paul Dirac. Dirac fue predecesor mío como profesor Lucasiano en Cambridge. Aunque hace más de setenta años que la mecánica cuántica existe, aún no es generalmente entendida o apreciada, incluso por aquellos que la usan para hacer cálculos. Sin embargo, nos debería interesar a todos, porque proporciona una imagen diferente del universo físico y de la realidad misma. En mecánica cuántica, las partículas no tienen posiciones y velocidades bien definidas. En lugar de eso, están representadas por lo que se llama la función de onda, que es un número en cada punto del espacio. El valor de la función de onda da la probabilidad de que la partícula se encuentre en dicha posición. El ritmo con que la función de onda varía de un punto a otro da la velocidad de la partícula. Se puede tener una función de onda con valor muy grande en una región muy pequeña. Eso significa que la incertidumbre en la posición es pequeña. Pero la función de onda variará muy rápidamente cerca del pico, arriba en un lado y abajo en el otro. Por lo tanto, la incertidumbre en la velocidad será grande. Del mismo modo, se puede tener funciones de onda en que la incertidumbre en la velocidad sea pequeña pero la incertidumbre en la posición sea grande.

La función de onda contiene todo lo que se puede saber sobre la partícula, su posición y su velocidad. Si conocemos la función de onda en un instante dado, sus valores en otros instantes son determinados por lo que se llama la

ecuación de Schrödinger. Por lo tanto, tenemos todavía un cierto tipo de determinismo, si bien no es del tipo que imaginó Laplace. En lugar de poder predecir las posiciones y velocidades de las partículas, todo lo que podemos predecir es su función de onda. Eso significa que con la física cuántica podemos predecir la mitad de lo que podríamos predecir con la física clásica según la visión del siglo XIX.

Aunque la mecánica cuántica conduce a incertidumbre cuando tratamos de predecir tanto la posición como la velocidad, todavía permite predecir con certeza una cierta combinación de posición y velocidad. Sin embargo, incluso este grado de certeza parece estar amenazado por los desarrollos más recientes. El problema surge porque la gravedad puede deformar tanto el espacio-tiempo que puede haber regiones que no podamos observar.

Tales regiones son los interiores de los agujeros negros. Ello significa que no podemos, ni tan solo en principio, observar las partículas del interior de un agujero negro. Por ello, no podemos medir sus posiciones ni sus velocidades. Se debate si eso introduce una impredictibilidad adicional a la que se halla en la mecánica cuántica.

Las leyes que rigen el universo, ¿nos permiten predecir exactamente lo que nos va a ocurrir en el futuro?

La respuesta breve es no, y sí. En principio, las leyes nos permiten predecir el futuro. Pero en la práctica los cálculos acostumbran a ser demasiado difíciles.

En síntesis, la visión clásica, presentada por Laplace, era que el movimiento futuro de las partículas estaba completamente determinado si conocíamos sus posiciones y velocidades en un mismo instante. Esta visión tuvo que ser modificada cuando Heisenberg presentó su Principio de Incertidumbre, que establece que no podemos conocer con precisión tanto la posición como la velocidad. Sin embargo, todavía es posible predecir una cierta combinación de posición y velocidad. Pero incluso esa predictibilidad limitada parece desaparecer cuando se tienen en cuenta los agujeros negros.

5

¿QUÉ HAY DENTRO DE UN AGUJERO NEGRO?



Se dice que la realidad es a veces más extraña que la ficción, y en ninguna parte es eso más cierto que en el caso de los agujeros negros. Los agujeros negros son más extraños que cualquier cosa inventada por los escritores de ciencia ficción, pero son cuestiones científicas rotundamente reales.

La primera discusión sobre los agujeros negros fue debida a un profesor de Cambridge, John Michell, en 1783. Su argumento era el siguiente. Si se dispara una partícula, como por ejemplo una bala de cañón, verticalmente hacia arriba, irá siendo frenada por la gravedad. Al final, la partícula dejará de subir y empezará a retroceder. Sin embargo, si la velocidad inicial ascendente fuera mayor que un cierto valor crítico, llamado velocidad de escape, la gravedad no sería lo suficientemente fuerte como para detener la partícula y esta se escaparía. La velocidad de escape es ligeramente superior a once kilómetros por segundo para la Tierra, y alrededor de seiscientos diecisiete kilómetros por segundo para el Sol. Son velocidades mucho más elevadas que las de las balas de cañón reales pero resultan pequeñas en comparación con la velocidad de la luz, que es de 300.000 kilómetros por segundo. Así, la luz puede alejarse de la Tierra o del Sol sin mucha dificultad.

Sin embargo, Michell adujo que podría haber estrellas mucho más masivas que el Sol y que tuvieran velocidades de escape mayores que la velocidad de la luz. No podríamos verlas porque cualquier luz que enviaran sería arrastrada hacia atrás por la gravedad. Por lo tanto, serían lo que Michell llamó estrellas oscuras y ahora llamamos agujeros negros.

Para entenderlos, necesitamos comenzar con la gravedad. La gravedad es descrita por la teoría general de la relatividad de Einstein, que es una teoría del espacio y del tiempo, así como de la gravedad. El comportamiento del espacio y del tiempo es gobernado por un sistema de ecuaciones denominadas ecuaciones de Einstein, que Einstein propuso en 1915. Aunque es, con mucho, la más débil de las fuerzas conocidas de la naturaleza, tiene dos ventajas cruciales sobre las otras fuerzas. Primero, tiene largo alcance. La Tierra se mantiene en órbita alrededor del Sol, a ciento cincuenta millones de kilómetros de distancia, y el Sol se mantiene en órbita alrededor del centro de la galaxia, a unos diez mil años luz de distancia. La segunda ventaja es que la gravedad siempre es atractiva, a diferencia de las fuerzas eléctricas, que pueden ser atractivas o repulsivas. Esas dos características significan que, para una estrella suficientemente grande, la atracción gravitatoria entre las partículas que la constituyen puede dominar sobre todas las otras fuerzas y conducir a un colapso gravitatorio. A pesar de eso, la comunidad científica tardó en darse cuenta de que estrellas masivas podrían colapsarse sobre sí mismas bajo su propia gravedad, y en descubrir cómo se comportaría el objeto resultante. Albert Einstein incluso escribió un artículo en 1939 afirmando que las estrellas no podían colapsarse bajo la gravedad, porque la materia no podía ser comprimida más allá de cierto punto. Muchos científicos compartieron la intuición de Einstein. La principal excepción fue el científico estadounidense John Wheeler, que en muchos sentidos es el héroe de la historia de los agujeros negros. En sus trabajos durante las décadas de 1950 y 1960 enfatizó que muchas estrellas acaban por colapsarse, y exploró los problemas que esto plantea para la física teórica. También previó muchas de las propiedades de los objetos en que se convierten las estrellas al colapsarse, es decir, agujeros negros.

Durante la mayor parte de la vida de una estrella normal, durante miles de

millones de años, se mantendrá contra su propia gravedad por la presión térmica causada por procesos nucleares que convierten hidrógeno en helio. Al final, sin embargo, la estrella acabará por agotar su combustible nuclear y se contraerá. En algunos casos, puede mantenerse como una estrella enana blanca. Sin embargo, Subrahmanyan Chandrasekhar demostró en 1930 que la masa máxima de las enanas blancas es aproximadamente 1,4 veces la masa del Sol. Una masa máxima similar fue calculada por el físico ruso Lev Landau para las estrellas formadas solo por neutrones.

¿Cuál sería el destino de las innumerables estrellas con una masa mayor que la masa máxima de una enana blanca o de una estrella de neutrones una vez hayan agotado su combustible nuclear? El problema fue investigado por Robert Oppenheimer, famoso posteriormente a causa de la bomba atómica. En un par de artículos de 1939, con George Volkoff y Hartland Snyder, demostró que una estrella así no podía ser sostenida por la presión. Y que si se sobrepasaba la presión, una estrella uniforme y esféricamente simétrica se contraería sistemáticamente a un punto de densidad infinita. Tal punto se llama singularidad. Todas nuestras teorías del espacio están formuladas bajo el supuesto de que el espacio-tiempo es liso y casi plano, por lo que dejan de ser válidas en la singularidad, donde la curvatura del espacio-tiempo es infinita. De hecho, la singularidad marca el final del espacio y del tiempo. Eso es lo que Einstein encontró tan cuestionable.

Entonces empezó la segunda guerra mundial. La mayoría de los científicos, incluido Robert Oppenheimer, cambiaron su atención a la física nuclear y el problema del colapso gravitatorio fue en gran parte olvidado. El interés en el tema revivió con el descubrimiento de objetos distantes llamados cuásares. El primer cuásar, 3C273, fue descubierto en 1963. Pronto se descubrieron muchos otros. Los cuásares son brillantes a pesar de estar a grandes distancias. Los procesos nucleares no pueden explicar su producción de energía, porque liberan solo una pequeña fracción de su masa en reposo como energía pura. La única alternativa era la energía gravitacional liberada en el colapso gravitacional.

El colapso gravitacional de las estrellas fue redescubierto. Estaba claro que una estrella esférica uniforme se contraería a un punto de densidad

infinita, una singularidad. Pero ¿qué pasaría si la estrella no fuera uniforme y esférica? ¿Podría ocurrir que diferentes partes de la estrella pasaran de largo las unas de las otras y se evitara la singularidad? En un artículo notable, en 1965, Roger Penrose demostró, utilizando solo el hecho de que la gravedad es atractiva, que se seguiría produciendo una singularidad.

Las ecuaciones de Einstein no se pueden definir en una singularidad. Esto significa que en este punto de densidad infinita no podemos predecir el futuro. Eso implica que algo extraño podría suceder cada vez que una estrella se colapsa. No nos veríamos afectados por la ruptura de la predicción si las singularidades no están desnudas, es decir, no están protegidas del exterior. Penrose propuso la conjetura de censura cósmica, según la cual todas las singularidades formadas por el colapso de estrellas o de otros cuerpos están ocultas a la vista, dentro de agujeros negros. Un agujero negro es una región donde la gravedad es tan fuerte que la luz no puede escapar. La conjetura de censura cósmica es casi seguramente cierta, porque varios intentos de refutarla han fallado.

Cuando John Wheeler introdujo el término «agujero negro» en 1967, reemplazó el nombre anterior de «estrella congelada». La denominación de Wheeler enfatizó que los remanentes de estrellas colapsadas tienen interés por derecho propio, independientemente de cómo se formaron. El nuevo nombre fue aceptado rápidamente.

Desde fuera, no podemos decir qué hay dentro de un agujero negro. Sea lo que sea que les arrojemos, los agujeros negros que se forman tienen el mismo aspecto. John Wheeler expresó este hecho con la frase «Los agujeros negros no tienen pelo».

Un agujero negro tiene una frontera llamada horizonte de sucesos. Es donde la gravedad se hace lo suficientemente intensa para arrastrar la luz hacia atrás y evitar que se escape. Como nada puede viajar más rápido que la luz, todo lo demás también será arrastrado hacia atrás. Caer a través del horizonte de sucesos se parece a pasar las cataratas del Niágara en una canoa. Si estamos por encima de las cataratas, podemos escapar si remamos lo suficientemente rápido, pero una vez estamos sobre el borde estamos perdidos. No hay vuelta atrás. Cuando nos acercamos a las cataratas la

corriente se hace más rápida. Esto significa que el agua tira más fuerte de la proa que de la popa, por lo cual hay peligro de que la canoa se parta. Lo mismo ocurre con los agujeros negros. Si caemos hacia un agujero negro, la gravedad tirará más fuerte de los pies que de la cabeza, porque están más cerca del agujero negro. El resultado es que seremos estirados longitudinalmente y aplastados por los lados. Si el agujero negro tiene una masa de unas pocas veces la de nuestro Sol, seríamos desgarrados y convertidos en espagueti antes de llegar al horizonte. Sin embargo, si caemos en un agujero negro mucho más grande, con una masa de más de un millón de veces la masa del Sol, alcanzaríamos el horizonte sin dificultad. Así pues, si desea explorar el interior de un agujero negro, asegúrese de elegir uno grande. En el centro de nuestra galaxia, la Vía Láctea, hay un agujero negro con una masa de aproximadamente cuatro millones de veces la del Sol.

Aunque al caer en un agujero negro no notaría nada en particular, alguien que le observara desde lejos nunca le vería cruzar el horizonte de sucesos, sino que le parecería que fuera frenando y se quedara flotando justo fuera. Su imagen se volvería más y más tenue y más y más roja, hasta que finalmente se perdiera de vista. En lo que concierne al mundo exterior, se habría perdido para siempre.

Poco después del nacimiento de mi hija Lucy, mientras me metía en la cama, descubrí el teorema del área. Si la relatividad general es correcta y si la densidad de energía de la materia es positiva, como suele ser el caso, el área de la superficie del horizonte de sucesos, el límite de un agujero negro, tiene la propiedad de que cuando materia o radiación adicionales caen en el agujero el área siempre aumenta. Además, si dos agujeros negros chocan y se fusionan en un único agujero negro, el área del horizonte de sucesos del agujero negro resultante es mayor que la suma de las áreas de los horizontes de sucesos de los agujeros negros originales. El teorema del área puede ser probado experimentalmente por la instalación LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory). El 14 de septiembre de 2015, LIGO detectó ondas gravitacionales de la colisión y fusión de un agujero negro binario. A partir de la forma de la onda, se puede estimar las masas y los momentos angulares de los agujeros negros, y por el teorema sin pelo estos

determinan las áreas de los horizontes.

Estas propiedades sugieren que hay un parecido entre el área del horizonte de sucesos de un agujero negro y el concepto de entropía de la termodinámica de la física clásica convencional. La entropía se puede considerar como una medida del desorden de un sistema o, de manera equivalente, como una falta de conocimiento de su estado preciso. La famosa segunda ley de la termodinámica establece que la entropía siempre aumenta con el tiempo. Este descubrimiento fue el primer indicio de esa conexión crucial.

La analogía entre las propiedades de los agujeros negros y las leyes de la termodinámica puede ser ampliada. La primera ley de la termodinámica dice que un pequeño cambio en la entropía de un sistema va acompañado de un cambio proporcional en la energía del sistema. Brandon Carter, Jim Bardeen y yo encontramos una ley similar que relaciona el cambio en la masa de un agujero negro con el cambio en el área del horizonte de sucesos. El factor de proporcionalidad hace intervenir una magnitud llamada gravedad superficial, que es una medida de la intensidad del campo gravitatorio en el horizonte de sucesos. Si se acepta que el área del horizonte de sucesos es análoga a la entropía, la gravedad superficial es análoga a la temperatura. La semejanza se ve reforzada por el hecho de que la gravedad superficial resulta ser la misma en todos los puntos del horizonte de sucesos, al igual que la temperatura es la misma en todas las partes de un cuerpo en equilibrio térmico.

Aunque existe claramente una similitud entre la entropía y el área del horizonte de sucesos, no resultaba obvio cómo el área podría ser identificada como la entropía de un agujero negro. ¿Qué se entiende por la entropía de un agujero negro? La sugerencia crucial fue hecha en 1972 por Jacob Bekenstein, que era un estudiante graduado en la Universidad de Princeton y consiste en lo siguiente. Cuando se crea un agujero negro por colapso gravitacional, llega rápidamente a un estado estacionario caracterizado por tres parámetros: la masa, el momento angular y la carga eléctrica.

Esto hace que parezca que el estado final del agujero negro es independiente de si el cuerpo que ha colapsado estaba compuesto de materia o de antimateria, o de si era esférico o de forma muy irregular. En otras

palabras, un agujero negro de masa, momento angular y carga eléctrica dadas podría haberse formado por el colapso de una configuración de materia cualquiera entre una gran cantidad de diferentes configuraciones. Así, lo que parece ser el mismo agujero negro podría haberse formado por el colapso de una gran cantidad de diferentes tipos de estrellas. De hecho, si se ignoran los efectos cuánticos, el número de configuraciones sería infinito ya que el agujero negro podría haber sido formado por el colapso de una nube de un número indefinidamente grande de partículas de masa indefinidamente pequeña. Pero ¿podría el número de configuraciones ser realmente infinito?

Es bien conocido que la mecánica cuántica implica el Principio de Incertidumbre, que establece que es imposible medir simultáneamente la posición y la velocidad precisas de un objeto. Si se mide exactamente dónde está algo, su velocidad queda indeterminada. Si se mide su velocidad, queda indeterminada su posición. En la práctica, ello significa que es imposible localizar cualquier cosa. Supongamos que quisiéramos medir el tamaño de algo; para ello debemos saber dónde están los extremos de dicho objeto en movimiento. Nunca podemos hacerlo con total precisión, porque hacerlo supondría medir tanto las posiciones y las velocidades de algo simultáneamente. Se sigue que es imposible determinar el tamaño de un objeto. Todo lo que podemos hacer es decir que el Principio de Incertidumbre impide obtener con precisión cuál es realmente el tamaño de alguna cosa. Por ello, el Principio de Incertidumbre impone un límite al tamaño de las cosas. Tras un poco de cálculo se halla que para un objeto de masa dada hay un tamaño mínimo. Este tamaño mínimo es pequeño para objetos grandes, pero a medida que se van considerando objetos más ligeros, el tamaño mínimo se hace mayor. Se puede interpretar dicho tamaño mínimo como una consecuencia del hecho de que en la mecánica cuántica los objetos pueden ser considerados como onda o como partícula. Cuanto más ligero es un objeto, mayor es su longitud de onda y más esparcido está. Cuanto más pesado es el objeto, menor es su longitud de onda y parece más compacto. Cuando esas ideas se combinan con las de la relatividad general, se sigue que tan solo los objetos mayores que una cierta masa pueden formar agujeros negros. Dicha masa es aproximadamente la de un grano de sal. Otra consecuencia de dichas

ideas es que el número de configuraciones que podrían formar un agujero negro de masa, momento angular y carga eléctrica dados, aunque es muy grande, puede ser finito. Jacob Bekenstein sugirió que a partir de este número finito se podría interpretar la entropía de un agujero negro, que constituiría una medida de la cantidad de información que parece irremediablemente perdida en el colapso que dio lugar al agujero.

El fallo aparentemente fatal en la sugerencia de Bekenstein era que si un agujero negro tiene una entropía finita proporcional al área de su horizonte de sucesos, también debe tener una temperatura diferente de cero, proporcional a su gravedad superficial. Eso implicaría que un agujero negro podría estar en equilibrio con la radiación térmica a una temperatura diferente de cero. Sin embargo, de acuerdo con los conceptos clásicos, tal equilibrio no es posible ya que el agujero negro absorbería cualquier radiación térmica que cayera en él, pero por definición no sería capaz de emitir nada, ni tan solo calor.

Esto suscitó una paradoja sobre la naturaleza de los agujeros negros, los objetos increíblemente densos creados por el colapso de las estrellas. Una teoría sugería que agujeros negros con cualidades idénticas podrían formarse a partir de un número infinito de diferentes tipos de estrellas. Otra sugería que el número podría ser finito. Este es un problema de información: la idea de que cada partícula y cada fuerza en el universo contienen información.

Como los agujeros negros no tienen pelo, como dijo John Wheeler, desde el exterior no se puede decir lo que hay dentro de un agujero negro, aparte de su masa, carga eléctrica y momento angular. Esto significa que un agujero negro debe contener una gran cantidad de información oculta al mundo exterior. Pero existe un límite en la cantidad de información que se puede empaquetar en una región del espacio. La información requiere energía, y la energía tiene masa según la famosa ecuación de Einstein: E = mc2. Entonces, si en una región del espacio hay demasiada información colapsará en un agujero negro, cuyo tamaño reflejará la cantidad de información. Es como apilar más y más libros en una librería. Al final, las estanterías cederán y la librería se colapsará en una especie de agujero negro.

Si la cantidad de información oculta dentro de un agujero negro depende del tamaño del agujero, uno esperaría de los principios generales que el

agujero negro tendría una temperatura y brillaría como un metal caliente. Pero eso resultaba imposible, porque, como todos sabían, nada podría salir de un agujero negro. O eso se creía.

Este problema perduró hasta principios de 1974, cuando yo estaba investigando si el comportamiento de la materia en las proximidades de un agujero negro estaría de acuerdo con la mecánica cuántica. Para mi gran sorpresa, encontré que el agujero negro parecía emitir partículas a un ritmo constante. Como todos los otros investigadores en aquella época, me había hecho a la idea de que un agujero negro no puede emitir nada. Por lo tanto, puse un gran empeño en deshacerme de ese efecto embarazoso. Pero cuanto más pensaba en ello, más se negaba a desaparecer, por lo que al final tuve que aceptarlo. Lo que finalmente me convenció de que era un proceso físico real era que las partículas salientes tienen un espectro que es precisamente térmico. Mis cálculos predijeron que un agujero negro crea y emite partículas y radiación como si fuera un cuerpo caliente ordinario, con una temperatura proporcional a su gravedad superficial e inversamente proporcional a su masa. Eso hizo que la sugerencia problemática de Jacob Bekenstein, que un agujero negro tenía una entropía finita, resultara totalmente consistente, ya que implicaba que un agujero negro podría estar en condiciones térmicas de equilibrio a una temperatura finita diferente de cero.

Desde ese momento, la evidencia matemática de que los agujeros negros emiten radiación térmica ha sido confirmada por otros investigadores desde diferentes enfoques. Una manera de entender la emisión es la siguiente. La mecánica cuántica implica que todo el espacio está lleno de pares de partículas y antipartículas virtuales que se materializan constantemente en parejas, se separan y luego se unen de nuevo y se aniquilan mutuamente. Tales partículas se llaman virtuales porque, a diferencia de las partículas reales, no se pueden observar directamente con un detector de partículas. Sin embargo, sus efectos indirectos pueden ser medidos y su existencia ha sido confirmada por un pequeño desplazamiento, llamado efecto Lamb, que producen en la energía del espectro de la luz de átomos de hidrógeno excitados. Ahora bien, en presencia de un agujero negro, un miembro de un par de partículas virtuales puede caer en el agujero, dejando al otro miembro

sin pareja con quien aniquilarse. La partícula o antipartícula superviviente puede caer en el agujero negro después de su compañero, pero también puede escapar al infinito, donde parecerá que haya sido emitida por el agujero.

Caer en un agujero negro ¿es una mala noticia para un viajero espacial?

Ciertamente es una mala noticia. Si se tratara de un agujero negro de masa estelar, el viajero se convertiría en un espagueti antes de llegar al horizonte. En cambio, si fuera un agujero negro supermasivo podría cruzar tranquilamente el horizonte, pero quedaría comprimido del todo en la singularidad.

Otra forma de interpretar el proceso es considerar el miembro del par de partículas que cae en el agujero negro, digamos la antipartícula, como una partícula que está viajando hacia atrás en el tiempo. Por lo tanto, la antipartícula que cae en el agujero negro puede considerarse una partícula que sale del agujero negro, pero viaja hacia atrás en el tiempo. Cuando la partícula alcanza el punto en el que el par de partícula y antipartícula se materializó originalmente, es dispersada por el campo gravitatorio y pasa a desplazarse hacia adelante en el tiempo. Un agujero negro de la masa del Sol iría perdiendo partículas a un ritmo tan lento que sería imposible de detectar. Sin embargo, podría haber agujeros negros mucho más pequeños, con la masa de, digamos, una montaña. Estos podrían haberse formado en el universo muy temprano, si hubiera sido suficientemente caótico e irregular. Un agujero negro del tamaño de una montaña emitiría rayos X y rayos gamma, con un ritmo de alrededor de diez millones de megavatios, suficiente para alimentar el suministro de electricidad del mundo. No obstante, no sería fácil aprovechar un miniagujero negro. No podría mantenerse en una central de energía porque atravesaría el suelo y terminaría en el centro de la Tierra. Si tuviéramos un agujero negro, la única forma de mantenerlo sería ponerlo en órbita alrededor de la Tierra.

Se han estado buscando miniagujeros negros de esa masa, pero hasta ahora no se ha encontrado ninguno. Es una lástima, porque si hubiera sido así

me habrían dado un premio Nobel. Otra posibilidad es que fuéramos capaces de crear microagujeros negros en las dimensiones extra del espacio-tiempo. Según algunas teorías, el universo que experimentamos es solo una superficie de cuatro dimensiones en un espacio de diez u once dimensiones. La película Interestelar da una idea de esto que me gusta. No veríamos estas dimensiones adicionales, porque la luz no se propagaría a través de ellas sino solo a través de las cuatro dimensiones de nuestro universo. Sin embargo, la gravedad afectaría las dimensiones adicionales y sería en ellas mucho más intensa que en nuestro universo. Esto haría mucho más fácil formar un pequeño agujero negro en las dimensiones adicionales. Quizás se podría observar en el LHC, el Gran Colisionador de Hadrones, en el CERN, en Suiza, que consiste en un túnel circular, de 27 kilómetros de largo. Dos haces de partículas viajan alrededor de dicho túnel en direcciones opuestas y se los hace chocar entre sí. Algunas de las colisiones pueden crear microagujeros negros. Estos irradian partículas según un patrón que sería fácil reconocer. Entonces, podría obtener un premio Nobel, después de todo.[1]

A medida que las partículas escapen de un agujero negro, el agujero perderá masa y se encogerá, lo cual aumentará la tasa de emisión de partículas. Al final, el agujero negro perderá toda su masa y desaparecerá. ¿Qué sucede con todas las partículas y los desafortunados astronautas que cayeron en el agujero? No pueden resurgir del agujero cuando está a punto de desaparecer. Las partículas que salen de un agujero negro parecen hacerlo completamente al azar, sin tener relación con lo que cayó. Parece que la información sobre lo que cayó se pierde, salvo la masa total y la cantidad de rotación. Pero si se pierde información, esto plantea un problema serio que afecta al corazón de nuestra comprensión de la ciencia. Hace más de doscientos años que creemos en el determinismo científico, es decir, que las leyes de la ciencia determinan la evolución del universo.

Si la información realmente se perdiera en los agujeros negros, no podríamos predecir el futuro, porque un agujero negro podría emitir cualquier colección de partículas. Podría emitir un televisor en funcionamiento o un volumen encuadernado en cuero de las obras completas de Shakespeare, aunque la posibilidad de emisiones tan exóticas es muy baja. Es mucho más

probable que emita radiación térmica, como el resplandor de un metal al rojo vivo. Podría parecer que no importaría mucho que no pudiéramos predecir lo que sale de los agujeros negros, ya que no hay ningún agujero negro cerca de nosotros. Pero es una cuestión de principios. Si el determinismo, la predictibilidad del universo, falla en los agujeros negros, podría fallar en otras situaciones. Podría haber agujeros negros virtuales que aparecieran como fluctuaciones del vacío, absorbieran un conjunto de partículas, emitieran otro y desaparecieran de nuevo en el vacío. Peor aún, si el determinismo falla tampoco podemos estar seguros de nuestra historia pasada. Los libros de historia y nuestros recuerdos podrían ser tan solo ilusiones. El pasado nos dice quién somos; sin él, perdemos nuestra identidad.

Por lo tanto, es muy importante determinar si realmente se pierde información en los agujeros negros o si, en principio, podría ser recuperada. Muchos científicos opinaban que esa información no se debía perder, pero durante años nadie sugirió un mecanismo por el cual pudiera ser preservada. Esta aparente pérdida de información, conocida como la «paradoja de la información», ha ocupado a los científicos durante los últimos cuarenta años, y sigue siendo uno de los mayores problemas sin resolver en física teórica.

En los últimos años, ha habido un renovado interés en este tema ya que se han realizado nuevos descubrimientos sobre la física de la gravedad cuántica en el régimen infrarrojo o de baja energía. Central en estos avances recientes es la comprensión de las simetrías subyacentes al espacio-tiempo.

Supongamos que no hubiera gravedad y que el espacio-tiempo fuera completamente plano. Sería como un desierto enteramente monótono. Tal lugar tendría dos tipos de simetría. La primera se denomina simetría de traslación. Si nos desplazáramos de un punto del desierto a otro punto, no observaríamos cambio alguno. La segunda simetría es la simetría de rotación. Si miráramos en direcciones diferentes, tampoco observaríamos ninguna diferencia. Esas simetrías también se hallan en el espacio-tiempo «plano», el espacio-tiempo que se halla en ausencia de materia.

Si pusiéramos algo en dicho desierto, las simetrías mencionadas se romperían. Supongamos que en el desierto hubiera una montaña, un oasis o

algunos cactos; entonces parecería diferente en diferentes puntos y en diferentes direcciones. Lo mismo ocurre con el espacio-tiempo. Si se ponen objetos en el espacio-tiempo, las simetrías de traslación y de rotación se rompen. E introducir objetos en un espacio-tiempo es lo que produce gravedad.

Un agujero negro es una región del espacio-tiempo donde la gravedad es muy fuerte, el espacio-tiempo está violentamente distorsionado y por lo tanto se espera que las simetrías estén rotas. Sin embargo, a medida que nos alejamos del agujero negro, la curvatura del espacio-tiempo va disminuyendo. Muy lejos del agujero negro, el espacio-tiempo se parece mucho al espaciotiempo plano.

En la década de 1960, un descubrimiento notable realizado por Hermann Bondi, A. W. Kenneth Metzner, M. G. J. van der Burg y Rainer Sachs reveló que en realidad hay una colección infinita de simetrías adicionales, llamadas «supertraslaciones». Cada una de esas simetrías está asociada con una magnitud conservada, llamada carga de supertraslación. Una magnitud conservada es una magnitud que no cambia a lo largo de la evolución del sistema. Se trata de generalizaciones de algunas magnitudes conservadas más familiares. Por ejemplo, si el espacio-tiempo no cambia con el tiempo, se conserva la energía. Si el espacio-tiempo tiene el mismo aspecto en todos los puntos del espacio, se conserva el momento.

Lo más notable del descubrimiento de las supertraslaciones fue que lejos de un agujero negro hay un número infinito de magnitudes conservadas. Esas leyes de conservación han proporcionado una visión extraordinaria e inesperada de los procesos en teorías gravitacionales.

En 2016, junto con mis colaboradores Malcolm Perry y Andy Strominger, he estado trabajando en el uso de las supertraslaciones y sus cantidades conservadas asociadas para encontrar una posible resolución de la paradoja de la información. Sabemos que las tres propiedades discernibles de los agujeros negros son su masa, su carga eléctrica y su momento angular. Es posible que los agujeros negros también tengan carga de supertraslación. Entonces, tal vez los agujeros negros tienen mucho más de lo que hasta ahora pensábamos. No son calvos, o con solo tres pelos, sino que en realidad tienen

una gran cantidad de «cabello de supertraslación».

Ese «cabello de supertraslación» podría codificar parte de la información sobre lo que hay dentro del agujero negro. Es probable que esas cargas de supertraslación no contengan toda la información, pero el resto podría explicarse mediante cantidades adicionales conservadas debido a una colección extra de simetrías llamadas superrotaciones, que hasta ahora no están bien entendidas. Si esto es correcto y toda la información sobre un agujero negro se puede entender en términos de sus «pelos», entonces tal vez no haya pérdida de información. Esas ideas han sido confirmadas por nuestros cálculos recientes. Strominger, Perry y yo mismo, junto con un estudiante graduado, Sasha Haco, hemos descubierto que las cargas de superrotación dan razón de toda la entropía de cualquier agujero negro. La mecánica cuántica sigue siendo válida y la información se almacena en el horizonte de sucesos, la superficie del agujero negro.

Fuera del horizonte de sucesos, los agujeros negros todavía se caracterizan exclusivamente por su masa total, su carga eléctrica y su momento angular, pero el horizonte de sucesos contiene la información necesaria para contarnos lo que ha caído en el agujero negro, de una manera que va más allá de las tres características usuales del agujero. Todavía estamos trabajando en esos temas y, por lo tanto, la paradoja de la información sigue sin resolver, pero soy optimista de que estamos avanzando hacia un solución.

6

¿ES POSIBLE VIAJAR EN EL TIEMPO?



En la ciencia ficción, las deformaciones del espacio y del tiempo son un lugar común. Se usan para rápidos viajes alrededor de la galaxia o para viajar en el tiempo. Pero la ciencia ficción de hoy es a menudo la ciencia de mañana. Entonces, ¿cuáles son las posibilidades de viajar en el tiempo?

La idea de que el espacio y el tiempo pueden curvarse o combarse es bastante reciente. Durante más de dos mil años, los axiomas de la geometría euclidiana se consideraron evidentes. Si tuvieron que aprender geometría en la escuela probablemente recordarán que una de las consecuencias de esos axiomas es que los ángulos de un triángulo suman 180 grados.

Sin embargo, en el siglo pasado algunos investigadores comenzaron a darse cuenta de que había otras formas posibles de geometría en las cuales los ángulos de un triángulo no necesitan sumar ciento ochenta grados. Consideremos por ejemplo la superficie de la Tierra. Lo más cercano a una línea recta en la superficie de la Tierra es lo que se llama un círculo máximo. Estos son los caminos más cortos entre dos puntos, por lo que constituyen las rutas que usan las aerolíneas. Consideremos ahora el triángulo formado en la superficie de la Tierra por el ecuador, el meridiano de 0 grados de longitud

que pasa por Londres y el meridiano de 90 grados de longitud este que pasa por Bangladesh. Ambos meridianos forman con el ecuador un ángulo recto, de 90 grados. Ambos meridianos también se cortan en el Polo Norte en ángulo recto. Por lo tanto, tenemos un triángulo con tres ángulos rectos. Los ángulos de este triángulo suman doscientos setenta grados. Esto es mayor que los ciento ochenta grados para un triángulo en una superficie plana. Si dibujáramos un triángulo en una superficie en forma de silla de montar encontraríamos que sus ángulos suman menos de ciento ochenta grados.

La superficie de la Tierra es lo que se llama un espacio bidimensional. Eso significa que podemos recorrer la superficie de la Tierra en dos direcciones perpendiculares entre sí: en la dirección norte-sur o en la este-oeste. Pero, por supuesto, hay una tercera dirección perpendicular a estas dos: de arriba abajo. Es decir, la superficie de la Tierra existe en el espacio tridimensional. El espacio tridimensional es plano, es decir, obedece a la geometría euclidiana. Los ángulos de un triángulo suman ciento ochenta grados. Sin embargo, podríamos imaginar una raza de criaturas bidimensionales que pudieran moverse en la superficie de la Tierra pero que no pudieran experimentar la tercera dirección de arriba abajo. No sabrían la existencia del espacio tridimensional en el que habita la superficie de la Tierra. Para ellos el espacio sería curvo y la geometría no sería euclidiana.

Pero tal como podemos imaginar seres bidimensionales que habitan en la superficie de la Tierra podríamos imaginar que el espacio tridimensional en que vivimos es la superficie de una esfera con una dimensión adicional que no vemos. Si la esfera fuera muy grande, el espacio sería casi plano y la geometría euclidiana sería una muy buena aproximación en distancias pequeñas. Sin embargo, a grandes distancias nos daríamos cuenta de que esa geometría euclidiana deja de ser válida. Para ilustrarlo, imaginemos un equipo de pintores que agrega pintura a la superficie de una bola grande.

A medida que el grosor de la capa de pintura aumentara, el área de superficie aumentaría. Si la pelota estuviera en un espacio tridimensional plano podríamos seguir añadiendo pintura indefinidamente y la pelota se haría más y más grande. Sin embargo, si el espacio tridimensional fuera realmente la superficie de una esfera con otra dimensión adicional su

volumen sería grande pero finito. Cuando fuéramos agregando más y más capas de pintura, la pelota acabaría por ocupar la mitad del espacio. Después de eso, los pintores se encontrarían atrapados en una región de tamaño cada vez menor, y casi todo el espacio estaría ocupado por la pelota y sus capas de pintura. Así descubrirían que vivían en un espacio curvo y no plano.

Este ejemplo muestra que no es posible deducir la geometría del mundo a partir de primeros principios como pensaban los antiguos griegos, sino que tenemos que medir el espacio en que vivimos y descubrir su geometría mediante experimentos. Sin embargo, aunque una forma de describir espacios curvos fue desarrollada por el alemán Berhnard Riemann en 1854, se mantuvo como una pieza de matemáticas durante sesenta años. Podría describir espacios curvos que existían en abstracto pero no parecía haber ninguna razón por la cual el espacio físico en que vivimos debiera ser curvo. Tal razón surgió en 1915, cuando Einstein presentó la teoría general de la relatividad.

La relatividad general fue una gran revolución intelectual que ha transformado la forma en que pensamos sobre el universo. Es una teoría no solo del espacio curvo sino también del tiempo curvado o deformado. Einstein se dio cuenta en 1905 de que el espacio y el tiempo están íntimamente conectados entre sí. Podemos describir la ubicación de un acontecimiento mediante cuatro números. Tres de ellos describen la posición del acontecimiento; podrían ser kilómetros al norte y al este de Oxford Circus y la altura sobre el nivel del mar. A mayor escala, podrían ser latitud y longitud galáctica y distancia desde el centro de la galaxia.

El cuarto número es el tiempo del acontecimiento. Por lo tanto, podemos pensar el espacio y el tiempo conjuntamente como una entidad de cuatro dimensiones llamada espacio-tiempo. Cada punto del espacio-tiempo está etiquetado por cuatro números que especifican su posición en el espacio y en el tiempo. Combinar así espacio y tiempo en el espacio-tiempo sería bastante trivial si pudiéramos desenredarlos de manera única, es decir si hubiera una manera única de definir el tiempo y la posición de cada suceso. Sin embargo, en un notable trabajo escrito en 1905 cuando era empleado de la oficina suiza de patentes, Einstein mostró que la posición y el tiempo en la que uno cree

que se ha producido un suceso dependen de cómo se estaba moviendo. Eso significa que el tiempo y el espacio están inextricablemente ligados el uno con el otro.

Los tiempos que los diferentes observadores asignarían a los sucesos coincidirían entre sí si los observadores no se movieran el uno con relación al otro. Pero estarían en desacuerdo tanto mayor cuanto mayor fuera su velocidad. Podemos preguntarnos, pues, con qué velocidad deberíamos ir para que el tiempo para un observador fuera hacia atrás en relación con el tiempo de otro observador. La respuesta se da en la estrofa humorística:

> Una joven dama de honor,
> que más que la luz era veloz,
> se fue un día,
> de manera relativa,
> y llegó la noche anterior.

Entonces, todo lo que necesitamos para viajar en el tiempo es una nave espacial que vaya más rápido que la luz. Desafortunadamente, en el mismo artículo Einstein demostró que la potencia que se necesitaría para acelerar una nave espacial se haría cada vez mayor cuanto más se acercara a la velocidad de la luz, y se necesitaría una potencia infinita para acelerar más allá de la velocidad de la luz.

El artículo de Einstein de 1905 parecía descartar el viaje en el tiempo hacia el pasado. También indicó que el viaje espacial a otras estrellas sería lento y tedioso. Si no se puede ir más rápido que la luz, el viaje de ida y vuelta a la estrella más cercana tomaría al menos ocho años y hasta el centro de la galaxia por lo menos cincuenta mil años. Si la nave espacial se acercara mucho a la velocidad de la luz podría parecer a las personas de a bordo que su viaje al centro de la galaxia hubiera durado solo unos pocos años. Pero eso no sería un gran consuelo si todos los que habíamos conocido estuvieran muertos y olvidados desde hace miles de años cuando regresáramos. Eso no sería muy bueno para los westerns espaciales, de modo que los escritores de ciencia ficción tuvieron que buscar maneras de evitar esa dificultad.

En su artículo de 1915, Einstein mostró que los efectos de la gravedad podrían describirse suponiendo que el espacio-tiempo queda deformado o distorsionado por su contenido en materia y energía. Podemos observar realmente la deformación del espacio-tiempo producida por la masa del Sol en la ligera curvatura de la luz o las ondas de radio que pasan cerca del Sol.

Eso hace que la posición aparente de la estrella o de la fuente de radio cambie ligeramente cuando el Sol se interpone entre la Tierra y la fuente. El cambio es muy pequeño, aproximadamente una milésima de grado, equivalente a un movimiento de un centímetro a una distancia de dos kilómetros. Sin embargo, puede ser medido con gran precisión y concuerda con las predicciones de la relatividad general. Tenemos pues evidencia experimental de que el espacio y el tiempo están deformados.

La magnitud de la deformación en nuestro entorno es muy pequeña porque todos los campos gravitatorios en el sistema solar son débiles. Sin embargo, sabemos que puede haber campos muy fuertes por ejemplo en el Big Bang o en los agujeros negros. Entonces, ¿el espacio y el tiempo pueden deformarse lo suficiente como para satisfacer las demandas de la ciencia ficción para cosas como que el hiperespacio tuviera agujeros de gusano o permitiera viajes en el tiempo? A primera vista, todo esto parece posible. Por ejemplo, en 1948 Kurt Gödel encontró una solución de las ecuaciones de campo de la relatividad general que representa un universo en el que todo su conjunto está girando. En este universo, sería posible partir en una nave espacial y regresar antes de haber partido. Gödel trabajaba en el Instituto de Estudios Avanzados en Princeton, donde también Einstein pasó sus últimos años. Gödel era famoso por haber puesto de manifiesto que no se puede demostrar todo lo que es verdad, ni tan siquiera en un tema aparentemente tan simple como la aritmética. Pero que hubiera llegado a demostrar que la relatividad general permite viajar en el tiempo realmente molestó Einstein, que creía que eso no era posible.

Ahora sabemos que la solución de Gödel no podría representar el universo en que vivimos porque no se estaba expandiendo. También tenía un valor bastante grande para una magnitud llamada constante cosmológica, que generalmente se cree que es cero. Sin embargo, parece que otros han hallado

soluciones más razonables que permiten viajar en el tiempo. Una solución particularmente interesante contiene dos cuerdas cósmicas que se mueven una respecto a la otra con una velocidad muy cercana pero ligeramente inferior a la velocidad de la luz. Las cuerdas cósmicas son una notable idea de la teoría física que los escritores de ciencia ficción en realidad no parecen haber captado por ahora. Como su nombre sugiere, son como cuerdas porque tienen longitud pero su sección transversal es muy pequeña. En realidad, se parecen más a bandas de goma porque están sometidas a una tensión enorme, algo así como unos mil billones de billones de toneladas. Una cuerda cósmica unida al Sol lo aceleraría del reposo a unos cien kilómetros por segundo en una trigésima parte de segundo.

Las cuerdas cósmicas pueden parecer ideas descabelladas y pura ciencia ficción, pero hay buenas razones científicas para creer que podrían haberse formado en el universo muy temprano poco después de la gran explosión. Como están sometidas a una tensión tan grande, se podría esperar que aceleraran a casi la velocidad de la luz.

Lo que tienen en común tanto el universo de Gödel como el espacio-tiempo con cuerdas cósmicas rápidas es que comienzan de manera tan distorsionada y curvada que viajar al pasado siempre fue posible. Dios pudo haber creado un universo tan retorcido pero no tenemos motivos para pensar que lo hiciera. Todo apunta a que el universo comenzó en el Big Bang sin el tipo de deformación necesaria para permitir viajar al pasado. Ya que no podemos cambiar la forma en que comenzó el universo, la pregunta de si viajar en el tiempo es posible nos lleva a preguntarnos si podríamos conseguir deformar suficientemente el espacio-tiempo para que nos permitiera regresar al pasado. Creo que esto es un tema de investigación importante, pero conviene procurar no ser tomado por loco. Si alguien solicitara una subvención de investigación para trabajar en los viajes en el tiempo sería despedido inmediatamente. Ninguna agencia gubernamental puede permitirse el lujo de gastar dinero público en cosas tan descabelladas. En su lugar, uno tiene que usar términos técnicos como curvas temporales cerradas, que son una indicación de la posibilidad de viajar en el tiempo. Aun así, es una pregunta muy seria. Si la relatividad general permite viajar en el

tiempo, ¿lo permite en nuestro universo? Y si no es así, ¿por qué no lo permite?

Estrechamente relacionada con el viaje en el tiempo hay la capacidad de viajar rápidamente desde un punto a otro en el espacio. Como dije antes, Einstein demostró que se necesitaría una potencia infinita para poder acelerar una nave espacial más allá de la velocidad de la luz. Así que la única forma de llegar desde un lado de la galaxia a otro en un tiempo razonable sería si pudiéramos deformar tanto el espacio-tiempo que creáramos un pequeño tubo o agujero de gusano. Este agujero podría conectar los dos lados de la galaxia y actuar como un atajo para ir de uno a otro y regresar mientras tus amigos todavía están vivos. Se ha sugerido seriamente que tales agujeros de gusano podrían estar al alcance de una civilización futura. Pero si pudiéramos atravesar la galaxia en una semana o dos, podríamos volver a través de otro agujero de gusano y regresar antes de haber salido. Incluso podríamos llegar a viajar en el tiempo con un solo agujero de gusano si sus dos extremos se movieran el uno con respecto al otro.

Es posible demostrar que para crear un agujero de gusano se necesita deformar el espacio-tiempo de manera opuesta a como lo deformaría la materia normal. La materia ordinaria curva el espacio-tiempo sobre sí mismo como la superficie de la Tierra. En cambio, para crear un agujero de gusano se necesita que el espaciotiempo se curve en el sentido opuesto, como la superficie de una silla de montar. Lo mismo es cierto para cualquier otra manera de deformar el espacio-tiempo que permita viajar al pasado si el universo no comenzó suficientemente deformado para permitir viajar en el tiempo. Se necesitaría una materia con masa negativa y densidad de energía negativa para deformar el espacio-tiempo en la forma requerida.

La energía es como el dinero. Si tenemos un saldo bancario positivo, lo podemos distribuir de varias maneras. Pero según las leyes clásicas en que se creía hasta hace muy poco no estaba permitido tener una deuda de energía. Así pues, las leyes clásicas descartaban que se pudiera deformar el universo de la manera requerida para permitir el viaje en el tiempo. Sin embargo, las leyes clásicas fueron derrocadas por la teoría cuántica, que es la otra gran revolución en nuestra imagen del universo aparte de la relatividad general. La

teoría cuántica es más relajada y permite tener una deuda en una o dos cuentas. ¡Ojalá los bancos fueran tan comprensivos y serviciales! En otras palabras, la teoría cuántica permite que la densidad de energía sea negativa en algunos lugares siempre que sea positiva en otros.

La razón por la cual la teoría cuántica puede permitir que la densidad de energía sea negativa es que se basa en el Principio de Incertidumbre, que establece que ciertas magnitudes como la posición y la velocidad de una partícula no pueden tener valores bien definidos simultáneamente. Cuanto más precisa sea la posición de una partícula tanto mayor es la incertidumbre en su velocidad y viceversa. El Principio de Incertidumbre también se aplica a campos como el campo electromagnético o el campo gravitatorio e implica que esos campos no pueden ser exactamente nulos, ni tan siquiera en lo que consideramos como espacio vacío. Si fueran exactamente cero, sus valores tendrían una posición bien definida en cero y una velocidad bien definida, que también sería cero. Esto constituiría una violación del Principio de Incertidumbre. En lugar de eso, los campos deben tener una cierta cantidad mínima de fluctuaciones. Podemos interpretar esas llamadas fluctuaciones de vacío como pares de partículas y antipartículas que de repente aparecen juntas, se separan, y luego vuelven a unirse y aniquilarse mutuamente.

Se dice que esos pares de partículas y antipartículas son virtuales porque no se pueden medir directamente con un detector de partículas. Sin embargo, podemos observar sus efectos indirectamente. Una manera de hacerlo es lo que se llama el efecto Casimir. Supongamos dos placas de metal paralelas entre sí, separadas por una distancia muy corta. Las placas actúan como espejos para las partículas y antipartículas virtuales. Eso significa que la región entre las placas actúa como un tubo de órgano y solo admite ondas de ciertas frecuencias resonantes. El resultado es que hay un poco menos de fluctuaciones del vacío o de partículas virtuales entre las placas que fuera de ellas, donde las fluctuaciones del vacío pueden tener cualquier longitud de onda. La reducción en el número de partículas virtuales entre las placas significa que no golpean las placas con tanta frecuencia, y por lo tanto no ejercen tanta presión sobre las placas como la que ejercen las partículas virtuales de fuera. Por lo tanto, hay una ligera fuerza que tiende a unir las

placas. Esa fuerza ha sido medida experimentalmente, de manera que las partículas virtuales existen realmente y producen efectos reales.

Como entre las placas hay menos partículas virtuales o fluctuaciones de vacío, hay entre ellas una densidad de energía más baja que en la región exterior. Pero la densidad de energía del vacío en el espacio lejos de las placas debe ser cero, ya que de lo contrario deformaría el espacio-tiempo y el universo no sería casi plano. Entonces, la densidad de energía en la región entre las placas debe ser negativa.

Por lo tanto, la curvatura de la luz proporciona evidencia experimental de que el espacio-tiempo está curvado y el efecto Casimir confirma que podemos deformarlo en sentido negativo. Por ello, parece posible que a medida que la ciencia y la tecnología avancen lleguemos a ser capaces de construir un agujero de gusano o de curvar el espacio-tiempo de alguna otra manera que permita viajar a nuestro pasado. Si este fuera el caso, plantearía una gran cantidad de preguntas y problemas. Una de ellas es: si en algún momento futuro aprendemos a viajar en el tiempo, ¿por qué nadie regresa del futuro para decirnos cómo hacerlo?

Incluso si hubiera razones de peso para mantenernos en la ignorancia, la naturaleza humana es tal que cuesta creer que a nadie le dé por alardear y decirnos a nosotros, pobres ignorantes, el secreto de cómo viajar en el tiempo. Por supuesto, algunas personas afirman que hemos sido visitados desde el futuro. Dicen que los ovnis vienen del futuro y que los gobiernos participan en una conspiración gigantesca para encubrirlos y guardar para sí el conocimiento científico que esos visitantes traen. Todo lo que puedo decir es que si los gobiernos estuvieran escondiendo algo están haciendo un trabajo bastante deficiente para obtener de los alienígenas alguna información útil. Soy bastante escéptico acerca de las teorías conspirativas. Los informes de avistamientos de ovnis no pueden ser causados por extraterrestres, porque son mutuamente contradictorios. Pero una vez que admitimos que algunos de ellos son errores o alucinaciones, ¿no es más probable que todos ellos sean debidos a eso en lugar de a que estamos siendo visitados por personas del futuro o del otro lado de la galaxia? Si realmente quieren colonizar la Tierra o advertirnos de algunos peligros, es posible que sean bastante ineficaces.

Una posible forma de conciliar los viajes en el tiempo con el hecho de que no parecemos haber tenido ningún visitante del futuro sería decir que eso solo podrá ocurrir en el futuro. En esta interpretación, diríamos que el espacio-tiempo en nuestro pasado fue corregido, porque lo hemos observado y hemos visto que no está suficientemente deformado para permitir viajar al pasado. En cambio, el futuro está abierto, de modo que podríamos llegar a ser capaces de deformarlo lo suficiente como para permitir viajar en el tiempo. Pero como solo podremos deformar el espacio-tiempo en el futuro, no podríamos volver al tiempo presente ni a ningún instante anterior a él.

Esta interpretación explicaría por qué no hemos sido arrollados por turistas del futuro. Pero aún quedarían muchas paradojas. Supongamos que fuera posible ir en un cohete y regresar antes de partir. ¿Qué nos impediría hacer explotar el cohete en la plataforma de lanzamiento o impedirle salir de alguna otra forma? Hay otras versiones de esta paradoja, como la de regresar y matar a tus padres antes de que nacieras, pero son esencialmente equivalentes. Parece que hay dos posibles soluciones.

Una es lo que llamaré el enfoque de historias consistentes. Dice que debe existir una solución consistente de las ecuaciones de la física, incluso si el espacio-tiempo está tan deformado que sea posible viajar al pasado. En esta interpretación no se podría partir en el cohete para viajar al pasado a menos que ya hubiéramos regresado y no hubiera explotado la plataforma de lanzamiento. Es una imagen consistente pero implicaría que estamos completamente determinados: no podríamos cambiar nuestras mentes ni tendríamos libre albedrío.

La otra posibilidad es lo que yo llamo el enfoque de historias alternativas. Ha sido defendida por el físico David Deutsch y parece ser lo que Robert Zemeckis tenía en mente cuando filmó Regreso al futuro. En esta interpretación, en una alternativa de la historia no habría habido ningún retorno del futuro antes de que el cohete partiera, así que no hay posibilidad de que hubiera explotado. Sin embargo, cuando el viajero regresa del futuro entra en otra historia alternativa. En esta, la especie humana hace un gran esfuerzo para construir una nave espacial, pero justo antes de poder lanzarla una nave espacial similar aparece desde el otro lado de la galaxia y la

destruye.

David Deutsch basa su enfoque de historias alternativas en el concepto de la suma de historias introducido por el físico Richard Feynman. La idea es que según la teoría cuántica el universo no tiene una única historia, sino todas las historias posibles, cada una de ellas con su propia probabilidad. Debe haber una historia posible en la que haya una paz duradera en Oriente Medio, aunque tal vez su probabilidad sea baja.

En algunas historias, el espacio-tiempo estará tan curvado que los objetos como los cohetes podrán viajar a su pasado. Pero cada historia es completa y autónoma, y describe no solo el espacio-tiempo curvo sino también los objetos que contiene. Así pues, un cohete no puede transferirse a otra historia alternativa cuando regresa de nuevo. Todavía se halla en la misma historia, que tiene que ser autoconsistente. Por lo tanto, a pesar de lo que Deutsch dice, creo que la idea de la suma de historias apoya la hipótesis de historias consistentes en lugar de la idea de historias alternativas.

Por lo tanto, parece que estemos atrapados en la imagen de historias consistentes. Sin embargo, no hace falta buscar problemas con el determinismo o el libre albedrío si las probabilidades de las historias en que el espacio-tiempo está tan deformado que el viaje en el tiempo es posible son muy pequeñas, reducidas a una región microscópica. Esto es lo que yo llamo la conjetura de protección cronológica: las leyes de la física conspiran para impedir viajes en el tiempo a escala macroscópica.

¿Tiene algún sentido organizar una fiesta para viajeros en el tiempo?
¿Esperaría que alguien regresara del futuro?

En 2009 organicé una fiesta para viajeros del tiempo en mi college, Gonville y Caius en Cambridge, para una película sobre viajes en el tiempo. Para asegurarme de que solo llegaran viajeros genuinos en el tiempo, no envié las invitaciones hasta después de la fiesta. El día señalado, me senté en la universidad esperando, pero nadie vino. Me decepcionó, pero no me sorprendió, porque había demostrado que si la relatividad general es correcta y la densidad de energía es positiva, el viaje en el tiempo no es posible. Me hubiera encantado que alguna de mis

suposiciones hubiera sido falsa.

Parece que lo que ocurre es que cuando el espaciotiempo se deforma casi lo suficiente como para permitir viajar al pasado, las partículas virtuales casi pueden convertirse en partículas reales siguiendo trayectorias cerradas. La densidad de las partículas virtuales y su energía se hacen muy grandes, lo cual significa que la probabilidad de esas historias es muy baja. Por lo tanto, parece que puede haber una Agencia de Protección Cronológica que trabaja para hacer que el mundo resulte seguro para los historiadores. Pero el tema de las distorsiones del espacio y el tiempo todavía está en su infancia. Según una forma unificadora de la teoría de cuerdas conocida como Teoría M, nuestra mejor esperanza de unir la relatividad general y la teoría cuántica en una teoría del todo, el espacio-tiempo debe tener once dimensiones, y no solo las cuatro que experimentamos. La idea es que siete de esas once dimensiones están acurrucadas en un espacio tan pequeño que no las notamos. En cambio, las cuatro direcciones restantes son bastante planas y constituyen lo que llamamos espacio-tiempo. Si tal imagen es correcta, tal vez sea posible conseguir que las cuatro direcciones planas se mezclaran con las siete direcciones altamente curvadas o deformadas. Ignoramos todavía a qué podría dar lugar esto, pero abre posibilidades excitantes.

Por lo tanto, en conclusión, los viajes espaciales rápidos o los viajes en el tiempo no pueden ser descartados por nuestra comprensión actual, aunque causarían grandes problemas lógicos, así que esperamos que haya una ley de protección cronológica que evite que las personas regresen y maten a nuestros padres. Pero los entusiastas de la ciencia ficción no deben descorazonarse: todavía queda esperanza en la teoría M.

7

¿SOBREVIVIREMOS EN LA TIERRA?



En enero de 2018, el Bulletin for Atomic Scientists, una revista fundada por algunos de los físicos que habían trabajado en el Proyecto Manhattan, pusieron el Reloj del Día del Juicio Final, que mide la inminencia de una catástrofe militar o ambiental a que pueda enfrentarse nuestro planeta, a dos minutos antes de la medianoche (hora que representa simbólicamente el fin del mundo).

El reloj tiene una historia interesante. Se inició en 1947, en un momento en que la era atómica acababa de comenzar. Dos años antes, Robert Oppenheimer, el jefe científico del Proyecto Manhattan, había dicho tras la explosión de la primera bomba atómica, en julio de 1945, «sabíamos que el mundo no sería igual. Algunas personas se rieron, otras lloraron, la mayoría permanecieron en silencio. Recordé un versículo de la escritura hindú, el Bhagavad-Gita: "Ahora, me he convertido en la Muerte, la destructora de mundos"».

En 1947, el reloj se puso originalmente a las siete en punto de la tarde. Ahora está más cerca del Día del Juicio Final que en cualquier momento desde entonces, salvo a principios de los años cincuenta, al comienzo de la

Guerra Fría. Como científico, me siento obligado a tomar muy en serio esa advertencia alarmante de otros científicos, impulsado, al menos en parte, por la elección de Donald Trump como presidente de Estados Unidos. Dicho reloj y la idea de que el tiempo corre o se está acabando para la especie humana, ¿son realistas o alarmistas? ¿Su advertencia es oportuna o es una pérdida de tiempo?

Tengo un interés muy personal en el tiempo. En primer lugar, mi libro más vendido, y la razón principal por la que soy conocido más allá de los límites de la comunidad científica, fue titulado Brevísima historia del tiempo. Entonces, algunos podrían imaginar que soy un experto en el tiempo, aunque por supuesto en nuestros días un experto no es necesariamente algo bueno. En segundo lugar, como alguien que cuando tenía veintiún años fue informado por los médicos de que solo le quedaban cinco años de vida, y que a pesar de ello a principios de este año ha cumplido setenta y cinco años, sí soy un experto en el tiempo, pero en otro sentido mucho más personal. Soy incómodamente, agudamente consciente del paso del tiempo, y he vivido gran parte de mi vida con la sensación de que el tiempo que me ha sido concedido es, como se dice, un préstamo.

Sin duda, nuestro mundo es más inestable políticamente que en cualquier otro momento de mi vida. Un gran número de personas se sienten abandonadas económica y socialmente. Como resultado, están recurriendo a políticos populistas, o al menos populares, que tienen una experiencia limitada de gobierno y cuya capacidad para tomar decisiones sensatas ante una crisis aún no se ha probado. Así que eso implicaría que un reloj del Día del Juicio Final debería acercarse a un punto crítico, ya que va creciendo la perspectiva de fuerzas descuidadas o malévolas que precipiten el Armagedón.

La Tierra está amenazada en tantos aspectos que resulta difícil ser positivo. Las amenazas son demasiado grandes y numerosas.

Primero, la Tierra se nos está quedando demasiado pequeña. Los recursos físicos están siendo drenados a un ritmo alarmante. Hemos hecho a nuestro planeta el regalo desastroso del cambio climático: temperaturas crecientes, reducción de los casquetes polares, deforestación, sobrepoblación, enfermedades, guerras, hambrunas, falta de agua y diezmamiento de especies

animales. Todos estos problemas tienen soluciones, pero hasta ahora no han sido aplicadas.

El calentamiento global es causado por todos nosotros: queremos coches, viajes y un mejor nivel de vida. El problema es que cuando la gente se dé cuenta de lo que está sucediendo puede ser demasiado tarde. Como estamos al borde de una Segunda Era Nuclear y de un período de cambio climático sin precedentes, los científicos tienen una responsabilidad especial, una vez más, para informar al público y asesorar a los líderes sobre los peligros con que se enfrenta la humanidad. Como científicos, entendemos los peligros de las armas nucleares y sus efectos devastadores, y estamos aprendiendo cómo las actividades humanas y las tecnologías están afectando los sistemas climáticos de maneras que pueden cambiar para siempre la vida en la Tierra. Como ciudadanos del mundo, tenemos el deber de compartir ese conocimiento y alertar al público sobre riesgos innecesarios con los que vivimos todos los días. Prevemos un gran peligro si los gobiernos y las sociedades no toman medidas ahora, para hacer que las armas nucleares devengan obsoletas y evitar más cambio climático.

Al mismo tiempo, muchos de esos mismos políticos están negando la realidad del origen humano del cambio climático, o al menos la capacidad del hombre para revertirlo, justo en el momento en que nuestro mundo se enfrenta con una serie de crisis ambientales críticas. El peligro es que el calentamiento global puede empezar a retroalimentarse, si no lo ha hecho ya. El derretimiento del Ártico y del casquete polar antártico reduce la fracción de energía solar que se refleja en el espacio, con lo cual la temperatura aumenta más. El cambio climático puede matar la Amazonia y otras selvas tropicales y eliminar una de las principales formas en que se extrae dióxido de carbono de la atmósfera. El aumento de la temperatura del mar puede desencadenar la liberación de grandes cantidades de dióxido de carbono, atrapado como hidruros en el fondo del océano. Ambos fenómenos pueden aumentar el efecto invernadero y el calentamiento global y podrían hacer que nuestro clima se convierta en el de Venus: hirviente y con lluvias de ácido sulfúrico, pero con una temperatura de 250 grados Celsius. La vida humana sería insostenible. Necesitamos ir más allá del protocolo de Kioto y reducir

las emisiones de carbono ahora mismo. Tenemos la tecnología para hacerlo. Solo necesitamos la voluntad política.

Podemos ser un grupo ignorante e irreflexivo. Cuando a lo largo de la historia hemos llegado a crisis similares, generalmente ha habido otro lugar para colonizar. Colón lo hizo en 1492 cuando descubrió el Nuevo Mundo. Pero ahora no hay un mundo nuevo. No hay una Utopía a la vuelta de la esquina. Nos estamos quedando sin espacio y los únicos lugares a donde ir son otros mundos.

El universo es un lugar violento. Las estrellas engullen planetas, las supernovas lanzan rayos letales al espacio, los agujeros negros chocan entre sí y los asteroides se precipitan a cientos de kilómetros por segundo. Por supuesto, esos fenómenos no hacen que el espacio parezca muy atractivo. Estas son las razones por las cuales deberíamos aventurarnos en el espacio, en lugar de quedarnos quietos. No tenemos defensa contra la colisión con un asteroide. La última colisión de asteroides fue hace unos sesenta y cinco millones de años y puso fin a los dinosaurios, y volverá a ocurrir. Esto no es ciencia ficción. Está garantizado por las leyes de la física y de la probabilidad.

La guerra nuclear sigue siendo probablemente la mayor amenaza para la humanidad en este momento. Es un peligro que hemos olvidado. Rusia y Estados Unidos ya no disparan tan despreocupadamente, pero todavía tienen suficientes bombas para destruir a todos los habitantes del planeta. Supongamos que hay un accidente o que los terroristas se apoderan de ellas. Y el riesgo aumenta a medida que más países dispongan de armas nucleares. Incluso después del final de la Guerra Fría, todavía hay suficientes armas nucleares acumuladas para matarnos a todos varias veces, y nuevas naciones nuclearizadas se sumarán a la inestabilidad. Con el tiempo, la amenaza nuclear puede disminuir pero se desarrollarán otras amenazas, así que debemos permanecer en guardia.

De una forma u otra, considero casi inevitable que haya alguna confrontación nuclear o que la catástrofe ambiental paralice la Tierra en algún momento en los próximos mil años, que en comparación con el tiempo geológico es un simple abrir y cerrar de ojos. Para entonces espero y creo que

nuestra ingeniosa especie habrá encontrado alguna manera de escuchar los lamentos de la Tierra y, por lo tanto, de sobrevivir al desastre. Pero puede que no ocurra lo mismo con millones de otras especies que habitan la Tierra y cuya desaparición pesará sobre nuestra conciencia como especie.

Creo que estamos actuando con imprudente indiferencia hacia nuestro futuro en el planeta Tierra. En este momento no tenemos otro lugar adonde ir, pero a la larga la especie humana no debería poner todos sus huevos en una sola canasta o en un solo planeta. Solo espero que hasta entonces podamos evitar que la canasta caiga. Pero somos, por naturaleza, exploradores, motivados por la curiosidad. Esta es una característica particular del ser humano. Es esta curiosidad la que impulsó a enviar exploradores a probar que la Tierra no es plana, y es el mismo instinto que nos envía a las estrellas a la velocidad del pensamiento, instándonos a ir a ellas en realidad. Y cada vez que damos un nuevo gran salto, como los alunizajes, elevamos la humanidad, unimos personas y naciones, marcamos el comienzo de nuevos descubrimientos y nuevas tecnologías. Salir de la Tierra exige un enfoque global concertado, al cual todos deberían unirse. Necesitamos reavivar la emoción de los primeros días del viaje espacial en los años sesenta. La tecnología está casi a nuestro alcance. Es hora de explorar otros sistemas solares; puede ser lo único que nos salve de nosotros mismos. Estoy convencido de que los humanos necesitamos dejar la Tierra para evitar correr el riesgo de ser aniquilados.

•

Entonces, más allá de mis esperanzas en la exploración espacial, ¿qué aspecto tendrá el futuro y cómo podría ayudarnos la ciencia?

La imagen popular de la ciencia en el futuro se muestra en la televisión todas las noches en series de ciencia ficción como Star Trek. Incluso me persuadieron para que participara en ella, aunque no resultó difícil.

La aparición en Star Trek fue muy divertida, pero solo la menciono para poner un punto de seriedad. Casi todas las visiones del futuro que nos han mostrado desde H. G. Wells en adelante han sido esencialmente estáticas.

Muestran una sociedad que en la mayoría de los casos está muy avanzada a la nuestra en ciencia, en tecnología y en organización política (Eso último podría no ser difícil.) En el período comprendido desde ahora hasta entonces, debe de haber experimentado grandes cambios con sus tensiones y trastornos. Pero cuando nos muestran la ciencia, la tecnología y la organización futura de la sociedad, se deja entender que han alcanzado un nivel de casi perfección.

Cuestiono esa imagen y me pregunto si alguna vez alcanzaremos un estado estable en ciencia y tecnología. En los diez mil años transcurridos desde la última Edad de Hielo, en ningún momento la especie humana ha dejado de avanzar continuamente en conocimiento y tecnología. Ha habido algunos reveses, como la Edad Oscura tras la caída del Imperio romano, pero la población mundial, que es una medida de nuestra capacidad tecnológica para preservar la vida y alimentarnos, ha aumentado constantemente, salvo algunos contratiempos como la Muerte Negra. En los últimos doscientos años, el crecimiento se ha vuelto exponencial —y la población mundial se ha disparado de mil millones de habitantes a siete mil seiscientos millones—. Otras medidas de desarrollo tecnológico en los últimos tiempos, como el consumo de electricidad o el número de artículos científicos publicados, también muestran un crecimiento exponencial con un tiempo de duplicación de unos cuarenta años o menos. De hecho, ahora tenemos unas expectativas tan grandes que alguna gente se siente defraudada por los políticos y los científicos porque aún no hemos alcanzado las visiones utópicas del futuro. Por ejemplo, la película 2001 nos mostró una base en la Luna y el lanzamiento de un vuelo tripulado, o debería decir personificado, a Júpiter.

No hay señales de que el desarrollo científico y tecnológico se ralentice y se detenga en un futuro cercano. Ciertamente, no para la época de Star Trek, que se supone a tan solo trescientos cincuenta años en el futuro. Pero el crecimiento exponencial actual no puede continuar para el próximo milenio. Para el año 2600, toda la población mundial estaría en pie, hombro contra hombro, y el consumo de electricidad haría que la Tierra brillara al rojo vivo. Si fuéramos poniendo uno al lado de otro los nuevos libros que van siendo publicados tendríamos que movernos a unos sesenta kilómetros por hora para mantener el ritmo con el extremo de la línea. Por supuesto, hacia 2600, los

nuevos trabajos artísticos y científicos vendrán en formatos electrónicos en lugar de libros y documentos físicos. Sin embargo, si continuara ese crecimiento exponencial, aparecerían diez nuevos artículos por segundo en mi especialidad de física teórica y no habría tiempo para leerlos.

Claramente, el crecimiento exponencial actual no puede continuar indefinidamente. Entonces, ¿qué pasará? Una posibilidad es que seamos barridos completamente por algún desastre, como un accidente o una guerra nucleares. Incluso si no nos destruimos completamente, existe la posibilidad de que podamos descender a un estado de brutalidad y barbarie como la escena de apertura de Terminator.

Por lo tanto, ¿cómo nos desarrollaremos en ciencia y tecnología durante el próximo milenio? Esto es muy difícil de responder. Pero déjenme arriesgar y ofrecer mis predicciones para el futuro. Tengo alguna posibilidad de acertar en lo que se refiere a los próximos cien años, pero en lo que se refiere al resto del milenio será pura especulación.

Nuestra comprensión moderna de la ciencia comenzó casi al mismo tiempo que el asentamiento europeo en América del Norte, y hacia el final del siglo XIX parecía que estábamos a punto de lograr una comprensión completa del universo en términos de lo que ahora se conoce como leyes clásicas. Pero, como hemos visto, en el siglo XX diversas observaciones empezaron a mostrar que la energía viene en paquetes discretos llamados cuantos y un nuevo tipo de teoría denominada mecánica cuántica fue formulada por Max Planck y otros. La teoría cuántica presenta una imagen de la realidad completamente diferente, en la cual las cosas no tienen una historia única sino todas las historias posibles, cada una con su propia probabilidad. Cuando vamos a escalas de pequeñas partículas individuales, las posibles historias de las partículas deben incluir caminos que viajan más rápido que la luz e incluso caminos que retroceden en el tiempo. Pero los caminos que retroceden en el tiempo no son como ángeles que bailan en la punta de un alfiler, sino que tienen consecuencias observables reales. Incluso lo que consideramos como espacio vacío está lleno de partículas que se mueven en bucles espacio-temporales cerrados, es decir, avanzan en el tiempo en un lado del ciclo y hacia atrás en el tiempo en el otro lado.

Lo preocupante del caso es que, como en el espacio-tiempo hay un número infinito de puntos, habrá un número infinito de posibles bucles cerrados de partículas. Un número infinito de bucles cerrados de partículas tendría una cantidad infinita de energía y curvaría el espacio y el tiempo hasta reducirlos a un punto. Ni tan solo la ciencia-ficción ha imaginado algo tan extraño. Manejar esta energía infinita requiere una contabilidad realmente creativa. Gran parte del trabajo en física teórica en los últimos veinte años ha consistido en buscar una teoría en la que los infinitos bucles cerrados en el espacio y el tiempo se cancelen entre sí por completo. Solo entonces podremos unificar la teoría cuántica con la relatividad general de Einstein y lograr una teoría completa de las leyes básicas del universo.

¿Cuáles son las perspectivas de que descubramos esa teoría completa en el próximo milenio? Yo diría que muy buenas, pero soy un optimista. En 1980 dije que pensaba que había una posibilidad del cincuenta por ciento de descubrir una teoría unificada completa en los veinte años siguientes. Hemos hecho algunos progresos notables desde entonces, pero la teoría final parece estar a la misma distancia. ¿El Santo Grial de la física estará siempre más allá de nuestro alcance? Creo que no.

A principios del siglo XX entendimos el funcionamiento de la naturaleza en la escala de la física clásica, que es satisfactorio hasta alrededor de una centésima de milímetro aproximadamente. Los trabajos sobre física atómica en los primeros treinta años del siglo nos llevaron a comprender el funcionamiento hasta longitudes de una millonésima de milímetro. Desde entonces, la investigación en la física nuclear y de altas energías nos ha llevado a escalas de longitud mil millones de veces más pequeñas. Parecería que podríamos seguir descubriendo indefinidamente estructuras a escalas de longitud más y más pequeñas. Sin embargo, hay un límite para esta serie como lo hay para la serie de muñecas dentro de las muñecas rusas. Al final, uno se encuentra con una muñeca más pequeña que ya no puede abrirse. En física, la muñeca más pequeña se llama la longitud de Planck y es un milímetro dividido por cien mil millones de billones de billones. No estamos en disposición de construir aceleradores de partículas que puedan sondear a distancias tan pequeñas. Tendrían que ser mayores que el sistema solar y no

es probable que sean aprobados en el actual clima financiero. Sin embargo, hay consecuencias de nuestras teorías que pueden ser exploradas por máquinas mucho más modestas.

No será posible alcanzar la longitud de Planck en el laboratorio, pero podemos estudiar el Big Bang para obtener evidencias observacionales a mayores energías y escalas de longitud más cortas de las que podemos lograr en la Tierra. Sin embargo, en gran medida tendremos que confiar en la belleza y la consistencia matemáticas para encontrar la teoría del todo definitiva.

La visión del futuro de Star Trek de que lograremos un nivel avanzado pero esencialmente estático puede hacerse realidad con respecto a nuestro conocimiento de las leyes básicas del universo, pero no creo que lleguemos a una situación estática en nuestras aplicaciones de dichas leyes. La teoría definitiva no pondrá límite alguno a la complejidad de los sistemas que podamos producir y es en esta complejidad en donde creo que se producirán los desarrollos más importantes del próximo milenio.

•

Con mucho, los sistemas más complejos que conocemos son nuestros propios cuerpos. La vida parece haber tenido su origen en los océanos primordiales que cubrieron la Tierra hace cuatro mil millones de años. Cómo sucedió, no lo sabemos. Puede ser que en las colisiones aleatorias entre átomos se fueran acumulando macromoléculas capaces de reproducirse y de ensamblarse en estructuras más complicadas. Lo que sí sabemos es que hace tres mil quinientos millones de años ya había surgido ADN, una molécula altamente complicada. El ADN es la base de toda la vida en la Tierra. Tiene estructura de doble hélice, como una doble escalera de caracol, que fue descubierta por Francis Crick y James Watson en el laboratorio Cavendish, en Cambridge, en 1953. Las dos hebras de la doble hélice están unidas por pares de bases nitrogenadas, como los escalones de una escalera de caracol. Hay cuatro tipos de bases nitrogenadas: citosina, guanina, adenina y timina. El orden en que las diferentes bases nitrogenadas se suceden a lo largo de la escalera de

caracol contiene la información genética que permite a la molécula de ADN ensamblar un organismo a su alrededor y reproducirse. A medida que el ADN va haciendo copias de sí mismo va habiendo errores ocasionales en el orden de los ácidos nucleicos a lo largo de la espiral. En la mayoría de los casos, los errores de copia impedirían que el ADN pudiera volver a reproducirse. Tales errores genéticos, o mutaciones como se les llama, se extinguirían. Pero en algunos casos el error o la mutación aumentarían las posibilidades de que el ADN sobreviva y se reproduzca. Esta selección natural de mutaciones fue propuesta por primera vez por otro hombre de Cambridge, Charles Darwin, en 1858, aunque no conocía el mecanismo para ello. Así pues, el contenido de la información en la secuencia de bases va evolucionando y aumentando en complejidad gradualmente.

Como la evolución biológica es básicamente un camino aleatorio en el espacio de todas las posibilidades, ha sido muy lenta. La complejidad, o cantidad de bits de información codificados en el ADN, viene dada aproximadamente por la cantidad de pares de bases en la molécula. Cada bit de información se puede considerar como la respuesta a una pregunta de sí o no. Durante los primeros dos mil millones de años, más o menos, la tasa de aumento en la complejidad debió haber sido del orden de un bit de información cada cien años. La tasa de aumento de la complejidad del ADN aumentó gradualmente hasta alrededor de un bit por año durante los últimos millones de años. Pero ahora estamos en el comienzo de un nueva era en que podremos aumentar la complejidad de nuestro ADN sin tener que esperar el lento proceso de la evolución biológica. No ha habido cambios significativos en el ADN humano en los últimos diez mil años, pero es probable que podamos rediseñarlo completamente en los próximos mil años. Por supuesto, mucha gente dirá que la ingeniería genética en humanos debería ser prohibida, pero dudo mucho si podrán prevenirlo. La ingeniería genética en plantas y animales será permitida por razones económicas y alguien se sentirá tentado a probarlo en humanos. A menos que tengamos un orden mundial totalitario, alguien diseñará humanos mejorados en alguna parte.

Desarrollar humanos claramente mejorados creará grandes problemas sociales y políticos con respecto a los humanos no mejorados. No defiendo la

ingeniería genética humana como algo bueno en sí, solo estoy diciendo que es probable que suceda en el próximo milenio, lo deseemos o no. Es por eso que no creo en la ciencia ficción como Star Trek, donde las personas son esencialmente iguales a las de ahora trescientos cincuenta años en el futuro. Creo que la especie humana y su ADN aumentarán su complejidad bastante rápidamente.

En cierto modo, la especie humana necesita mejorar sus cualidades mentales y físicas para tratar con el mundo cada vez más complejo que lo rodea y afrontar nuevos desafíos como los viajes espaciales. Y también necesita aumentar su complejidad si los sistemas biológicos deben mantenerse por delante de los sistemas electrónicos. Por el momento, los ordenadores nos aventajan en velocidad, pero no muestran signos de inteligencia. Ello no es sorprendente porque nuestros ordenadores actuales son menos complejos que el cerebro de una lombriz, una especie no especialmente reconocida por sus poderes intelectuales. Pero los ordenadores obedecen la ley de Moore, propuesta por Gordon Moore, de Intel, que afirma que su velocidad y complejidad se duplican cada dieciocho meses. Es uno de esos crecimientos exponenciales que no pueden continuar indefinidamente. Sin embargo, probablemente continuará hasta que los ordenadores alcancen una complejidad similar a la del cerebro humano. Algunas personas dicen que los ordenadores nunca podrán mostrar verdadera inteligencia, sea lo que sea esta. Pero me parece que si es muy complicado que las moléculas químicas puedan operar en los humanos para hacerlos inteligentes, igualmente circuitos electrónicos complicados también pueden hacer que los ordenadores actúen de manera inteligente. Y si son inteligentes, presumiblemente podrán diseñar ordenadores que tengan aún mayor complejidad e inteligencia.

Por eso no creo en la imagen de ciencia ficción de un futuro avanzado pero fijo; más bien espero que la complejidad aumente a un ritmo acelerado, tanto en las esferas de lo biológico como de lo electrónico. No mucho de esto sucederá ya en los próximos cien años, que es todo lo que podemos predecir fiablemente. Pero para el final del próximo milenio, si llegamos a él, el cambio será fundamental.

Lincoln Steffens dijo una vez: «He visto el futuro y funciona». En realidad, él se refería a la Unión Soviética, que ahora sabemos que no funcionó muy bien. Sin embargo, aunque creo que el orden mundial presente tiene un futuro, este será muy diferente.

¿Cuál es la mayor amenaza al futuro de nuestro planeta?

Sería una colisión con un asteroide, contra la cual carecemos de defensa. La última gran colisión con un asteroide fue hace unos sesenta y seis millones de años y puso fin a los dinosaurios. Un peligro más inmediato es que el cambio climático se acelere. Un aumento de la temperatura de los océanos fundiría los casquetes de hielo polares y liberaría grandes cantidades de dióxido de carbono. Ambos efectos harían que nuestro clima se convirtiera en el de Venus, pero con una temperatura de unos 250 grados Celsius.

8

¿DEBERÍAMOS COLONIZAR EL ESPACIO?



¿Por qué deberíamos ir al espacio? ¿Cuál es la justificación para gastar tanto esfuerzo y dinero para obtener algunos fragmentos de rocas lunares? ¿No hay mejores causas aquí en la Tierra? La respuesta obvia es porque está ahí, a nuestro alrededor. No dejar el planeta Tierra sería como ser náufragos en una isla desierta, sin intentar escapar. Necesitamos explorar el sistema solar para encontrar sitios donde los humanos puedan vivir.

En cierto modo, la situación era así en la Europa de antes de 1492. Se podría haber discutido si era una pérdida de dinero enviar a Colón a una búsqueda alocada. Sin embargo, el descubrimiento del Nuevo Mundo provocó una profunda diferencia en el Viejo. Piense, por ejemplo, qué ocurriría si no hubiéramos tenido la Big Mac o KFC. Extenderse al espacio tendrá un efecto aún mayor. Cambiará completamente el futuro de la especie humana, y tal vez determinará que tengamos o no algún futuro. No resolverá ninguno de nuestros problemas inmediatos en el planeta Tierra, pero nos proporcionará una nueva perspectiva sobre ellos y hará que miremos hacia fuera en lugar de hacia dentro. Con suerte, nos unirá para enfrentar el desafío común.

Esta sería una estrategia a largo plazo, y por largo plazo me refiero a cientos o incluso a miles de años. Podríamos tener una base en la Luna dentro de treinta años, llegar a Marte en cincuenta y explorar las lunas de los planetas exteriores en doscientos. Al hablar de alcance, me refiero a vuelos tripulados por humanos. Ya hemos conducido vehículos de observación en Marte y hemos hecho aterrizar sondas en Titán, una luna de Saturno, pero, si estamos considerando el futuro de la especie humana, tenemos que ir allí nosotros mismos.

Ir al espacio no será barato, pero solo supondría una pequeña proporción de los recursos del mundo. El presupuesto de la NASA se ha mantenido aproximadamente constante en términos reales desde el momento de los desembarcos del Apolo en la Luna, pero ha disminuido desde un 0,3 por ciento del PIB de Estados Unidos en 1970 hasta un 0,12 por ciento en la actualidad. Incluso si tuviéramos que aumentar el presupuesto internacional veinte veces para hacer un esfuerzo serio para ir al espacio, supondría solo una pequeña fracción del PIB mundial.

Habrá quienes argumenten que sería mejor gastar nuestro dinero resolviendo los problemas de este planeta, como el cambio climático y la contaminación, en lugar de desperdiciarlo en una búsqueda posiblemente infructuosa de un nuevo planeta. No niego la importancia de luchar contra el cambio climático y el calentamiento global, pero podemos hacer eso y todavía reservar un 0,25 por ciento del PBI mundial para el espacio. ¿No vale nuestro futuro un 0,25 por ciento?

En la década de 1960, estuvimos convencidos de que el espacio merecía un gran esfuerzo. En 1962, el presidente Kennedy comprometió a los Estados Unidos a hacer aterrizar un hombre en la Luna para el final de la década. El 20 de julio de 1969, Buzz Aldrin y Neil Armstrong aterrizaron en la superficie de la Luna. Ello cambió el futuro de la especie humana. En aquel momento yo tenía veintisiete años, era un joven investigador en Cambridge, y me lo perdí. Estaba en una reunión sobre singularidades en Liverpool y escuchaba una conferencia de René Thom sobre teoría de catástrofes cuando se produjo el alunizaje. En aquellos días no había televisión en diferido y no teníamos ningún televisor a mano, pero mi hijo de dos años me lo describió.

La carrera espacial ayudó a crear una fascinación por la ciencia y aceleró el progreso tecnológico. Muchos de los científicos de hoy se inspiraron en los alunizajes para dedicarse a la ciencia, con el objetivo de comprender más acerca de nosotros mismos y de nuestro lugar en el universo. Nos proporcionó nuevas perspectivas sobre nuestro mundo, lo que nos llevó a considerar el planeta como un todo. Sin embargo, después del último alunizaje en 1972, sin más planes futuros para vuelos espaciales tripulados, el interés público en el espacio disminuyó. Esto coincidió con un desencanto general hacia la ciencia en Occidente, porque a pesar de que ha traído grandes beneficios no ha resuelto los problemas sociales que ocupan cada vez más la atención del público.

Un nuevo programa de vuelo espacial tripulado haría mucho para restaurar el entusiasmo público por el espacio y por la ciencia en general. Las misiones robóticas son mucho más baratas y pueden proporcionar más información científica, pero no captan la imaginación del público de la misma manera, y no difunden la especie humana al espacio, lo que, según estoy argumentando, debería ser nuestra estrategia a largo plazo. Un objetivo de una base en la Luna para 2050 y de un aterrizaje tripulado en Marte para 2070 relanzaría el programa espacial y le daría un sentido atractivo, de la misma manera que el objetivo de la Luna del presidente Kennedy lo hizo en la década de 1960. A finales de 2017, Elon Musk anunció los planes de Space X para una base lunar y una misión a Marte en 2022, y el presidente Trump firmó una directiva de política espacial redirigiendo la NASA a la exploración y el descubrimiento, de manera que tal vez llegaremos allí antes.

Un nuevo interés por el espacio también aumentaría la posición pública de la ciencia en general. La baja estima hacia la ciencia y los científicos está teniendo serias consecuencias. Vivimos en una sociedad que se rige cada vez más por la ciencia y la tecnología, pero cada vez menos jóvenes quieren entrar en la ciencia. Un nuevo y ambicioso programa espacial excitaría a los jóvenes y los estimularía a entrar en una amplia gama de ciencias, no solo astrofísica y ciencia espacial.

Lo mismo me pasó a mí. Siempre soñé con los vuelos espaciales. Pero durante muchos años pensé que era solo un sueño. Confinado a la Tierra y en

una silla de ruedas, ¿cómo podría experimentar la majestuosidad del espacio, excepto a través de la imaginación y de mi trabajo en física teórica? Nunca pensé que tendría la oportunidad de ver nuestro hermoso planeta desde el espacio, ni de mirar hacia lo lejos, hasta el infinito. Este era el dominio de los astronautas, unos pocos afortunados que experimentaban la maravilla y la emoción del vuelo espacial. Pero no había tenido en cuenta la energía y el entusiasmo de las personas cuya misión es dar el primer paso para aventurarse lejos de la Tierra. Y en 2007 tuve la fortuna de efectuar un vuelo de gravedad cero y experimentar la ingravidez por primera vez. Solo duró cuatro minutos pero fue increíble: podría haber seguido y seguido.

En aquel momento declaré mi temor de que la especie humana no tenga futuro si no vamos al espacio. Lo creía entonces y lo creo todavía. Y espero haber demostrado que cualquiera puede participar en viajes espaciales. Creo que depende de científicos como yo, juntamente con empresarios comerciales innovadores, hacer todo lo posible para promover la emoción y la maravilla de los viajes espaciales.

Pero ¿pueden los humanos existir durante largo tiempo lejos de la Tierra? La experiencia con la ISS, la Estación Espacial Internacional, muestra que es posible que los humanos sobrevivan muchos meses lejos del planeta Tierra. Sin embargo, la gravedad cero de la órbita causa una serie de cambios fisiológicos indeseables y debilitamiento de los huesos, así como problemas prácticos con los líquidos, entre otros. Por lo tanto, cualquier base a largo plazo para los seres humanos debería estar en un planeta o una luna. Al excavar en su superficie, se obtendría aislamiento térmico y protección contra los meteoritos y los rayos cósmicos. El planeta o la luna también podrían servir como fuente de las materias primas que serían necesarias para que la comunidad extraterrestre pudiera ser autosuficiente, independientemente de la Tierra.

¿Cuáles son los posibles sitios para una colonia humana en el sistema solar? El más obvio es la Luna. Está cerca y es relativamente fácil de alcanzar. Ya hemos aterrizado en ella y conducido por ella en un todoterreno. Pero la Luna es pequeña y sin atmósfera ni campo magnético que desvíe las partículas de radiación solar, como ocurre en la Tierra. No hay agua líquida,

pero podría haber hielo en los cráteres en los polos norte y sur. Una colonia en la Luna podría usarla como fuente de oxígeno, con energía proporcionada por tecnología nuclear o por paneles solares. La Luna podría ser una base para viajar al resto del sistema solar.

Marte es el siguiente objetivo obvio. Su distancia al Sol es una vez y media la de la Tierra y recibe la mitad del calor que esta. En el pasado tuvo un campo magnético, pero decayó hace cuatro mil millones de años, dejando a Marte sin protección respecto de la radiación solar. Esto despojó a Marte de la mayoría de su atmósfera, dejándola con solo el uno por ciento de la presión atmosférica terrestre. Sin embargo, la presión debió haber sido más alta en el pasado, porque vemos lo que parece ser rastros de canales y de lagos secos. El agua líquida no puede existir en Marte ahora, ya que se vaporizaría en el vacío circundante. Esto sugiere que Marte tuvo un período húmedo cálido durante el cual podría haber aparecido la vida, ya sea de forma espontánea o mediante panspermia (es decir, llegada de algún otro lugar del universo). No hay señales de vida en Marte ahora pero, si encontramos evidencias de que la vida existió allí alguna vez, indicaría que la probabilidad de que la vida se desarrolle en un planeta adecuado fue bastante alta. Debemos ser cuidadosos sin embargo, para no confundir el problema contaminando el planeta con vida desde la Tierra. Del mismo modo, debemos tener mucho cuidado de no traer a la Tierra ninguna forma de vida exterior. No tendríamos resistencia a ella y podría acabar con la vida en la Tierra.

La NASA ha enviado una gran cantidad de naves espaciales a Marte, comenzando con el Mariner 4 en 1964. También inspeccionó el planeta con varios vuelos orbitales, el último de los cuales fue el Mars reconnaissance orbiter. Esos vuelos orbitales han revelado profundos barrancos y las montañas más altas que se conocen en el sistema solar. También ha hecho aterrizar una serie de sondas en la superficie de Marte, más recientemente, las dos Mars Rovers, que han enviado imágenes de un paisaje desértico, seco. Tal como en la Luna, se podría obtener agua y oxígeno de su hielo polar. En Marte hubo actividad volcánica, que habría arrastrado hasta la superficie minerales y metales, que una colonia podría usar.

La Luna y Marte son los sitios más adecuados para las colonias espaciales

en el sistema solar. Mercurio y Venus son demasiado calientes, mientras que Júpiter y Saturno son gigantes gaseosos, sin superficie sólida. Las lunas de Marte son muy pequeñas y no tienen ventajas sobre el propio Marte. Algunas de las lunas de Júpiter y Saturno serían lugares posibles. Europa, una luna de Júpiter, tiene una superficie de hielo congelado pero bajo ella podría haber agua líquida en la que la vida podría haberse desarrollado. ¿Cómo podemos averiguarlo? ¿Tenemos que aterrizar en Europa y perforar un agujero?

Titán, una luna de Saturno, es más grande y masiva que nuestra Luna y tiene una atmósfera densa. La misión Cassini-Huygens de la NASA y la Agencia Espacial Europea ha hecho aterrizar en Titán una sonda que ha enviado imágenes de la superficie. Sin embargo, al estar tan lejos del Sol hace mucho frío, y no me gustaría vivir cerca de un lago de metano líquido.

Pero ¿qué hay de aventurarse más allá del sistema solar? Nuestras observaciones indican que una fracción significativa de estrellas tiene planetas a su alrededor. Por ahora, solo podemos detectar planetas gigantes, como Júpiter y Saturno, pero es razonable suponer que están acompañados por planetas más pequeños, parecidos a la Tierra. Algunos de estos se encontrarán en la zona de habitabilidad, en la cual la distancia a la estrella está en el intervalo adecuado para que haya agua líquida en su superficie. Hay alrededor de mil estrellas a menos de treinta años luz de la Tierra. Si el uno por ciento de ellas tienen planetas del tamaño de la Tierra en la zona habitable, tenemos diez candidatos a nuevos mundos.

Consideremos Proxima b, por ejemplo. Este exoplaneta, que es el más cercano a la Tierra pero a cuatro y medio años-luz de distancia, orbita la estrella Proxima Centauri, en el sistema Alfa Centauri, e investigaciones recientes indican que tiene algunas similitudes con la Tierra.

Quizás no sea posible viajar a ellos con la tecnología actual, pero usando la imaginación podemos hacer del viaje interestelar un objetivo a largo plazo en los próximos doscientos a quinientos años. La velocidad con que podemos enviar un cohete se rige por dos factores: la velocidad del escape de los gases, y la fracción de masa que el cohete pierde a medida que se acelera. La velocidad de escape de los gases de los cohetes químicos, como los utilizados hasta ahora, es de unos tres kilómetros por segundo. Al deshacerse del treinta

por ciento de su masa, pueden alcanzar una velocidad de aproximadamente medio kilómetro por segundo, y luego reducir la velocidad de nuevo. Según la NASA, se tardaría tan solo unos 260 días para llegar a Marte, con una imprecisión de unos diez días, aunque algunos de sus científicos predicen que se podría tardar tan solo unos 130 días. Pero se tardaría unos tres millones de años para llegar al sistema estelar más cercano. Ir más rápido requeriría una velocidad de escape mucho más alta que la que pueden proporcionar los cohetes químicos, la de la luz misma. Un poderoso haz de luz desde la parte trasera podría impulsar la nave espacial hacia delante. La fusión nuclear podría proporcionar un uno por ciento de la energía de masa de la nave espacial, que la aceleraría a una décima parte de la velocidad de la luz. Para superar eso, necesitaríamos o bien la aniquilación de la materia o alguna forma de energía completamente nueva. De hecho, la distancia a Alfa Centauri es tan grande que, para alcanzarla en la vida humana, una nave espacial tendría que llevar combustible con aproximadamente la masa de todas las estrellas de nuestra galaxia. En otras palabras, con la tecnología actual el viaje interestelar es completamente impracticable. Alfa Centauri nunca podrá convertirse en un destino de vacaciones.

Tenemos la oportunidad de cambiar eso, gracias a la imaginación y el ingenio. En 2016 me asocié con el emprendedor Yuri Milner para lanzar el proyecto Breakthrough Starshot, un programa de investigación y desarrollo a largo plazo destinado a hacer realidad los viajes interestelares. Si tenemos éxito, enviaremos una sonda a Alfa Centauri durante la vida de algunos de ustedes. Pero volveré a esto dentro de poco.

¿Cómo comenzamos este viaje? Hasta ahora, nuestras exploraciones se han limitado a nuestro entorno cósmico local. Cuarenta años después de su lanzamiento, nuestro explorador más intrépido, el Voyager, acaba de llegar al espacio interestelar. Su velocidad, de unos veinte kilómetros por segundo, significa que tardaría unos setenta mil años para llegar a Alfa Centauri. Esta constelación está a 4,37 años luz de distancia, unos cuarenta y cinco billones de kilómetros. Si hay seres vivos en Alfa Centauri, hoy permanecen felizmente ignorantes del ascenso de Donald Trump.

Está claro que estamos entrando en una nueva era espacial. Los primeros

astronautas privados serán sus pioneros y los primeros vuelos serán muy costosos, pero espero que con el tiempo los vuelos espaciales lleguen a estar al alcance de mucha más población de la Tierra. Llevar más y más pasajeros al espacio dará un nuevo significado a nuestro lugar en la Tierra y a nuestras responsabilidades como administradores suyos, y nos ayudará a reconocer nuestro lugar y futuro en el cosmos, que es donde creo que reside nuestro destino final.

El programa Breakthrough Starshot es una verdadera oportunidad para que realicemos incursiones tempranas en el espacio exterior, con miras a investigar y sopesar las posibilidades de la colonización. Es una misión de prueba y ensayo, y se basa en tres ideas: una nave espacial miniaturizada, propulsión mediante luz y láseres de fase bloqueada. La Star Chip, una sonda espacial totalmente funcional reducida a unos pocos centímetros de tamaño, se adherirá a una vela ligera. Hecha de metamateriales, esta vela ligera no pesará más que unos pocos gramos. Está previsto que mil naves Star Chip y sus velas ligeras, el sistema Nanocraft, serán puestas en órbita. En el suelo, un conjunto de láseres a escala de kilómetros se combinarán en un único y poderosísimo haz de luz. El rayo se disparará a través de la atmósfera contra las velas espaciales con decenas de gigavatios de potencia.

La idea de esta innovación es que el sistema Nanocraft cabalgue en un haz de luz —como Einstein en su sueño de cuando tenía dieciséis años—. No lo haría a la velocidad de la luz, sino a una quinta parte, o 60.000 kilómetros por segundo. Tal sistema podría llegar a Marte en menos de una hora, a Plutón en días, sobrepasaría al Voyager en una semana, y llegaría a Alfa Centauri en poco más de veinte años. Una vez allí, la Nanocraft podría obtener imágenes de cualquier planeta descubierto en el sistema, buscar campos magnéticos y moléculas orgánicas, y enviar los datos a la Tierra en otro rayo láser. Esta pequeña señal sería recibida por el mismo conjunto de antenas que se usó para dirigir el rayo de lanzamiento, y se estima que tardaría aproximadamente cuatro años en volver. Es importante destacar que las trayectorias de las Star Chips pueden incluir un sobrevuelo de Proxima b, el planeta del tamaño de la Tierra que está en la zona habitable de su estrella anfitriona en Alfa Centauri. En 2017, el programa Breakthrough y el

Observatorio Europeo Austral unieron fuerzas para promover una búsqueda de planetas habitables en Alfa Centauri.

Hay objetivos secundarios para Breakthrough Starshot, como por ejemplo explorar el sistema solar y detectar los asteroides que cruzarán la órbita de la Tierra alrededor del Sol. Además, el físico alemán Claudius Gros ha propuesto que esta tecnología también se podría utilizar para establecer una biosfera de microbios unicelulares en exoplanetas que de otro modo solo serían habitables transitoriamente.

Hasta ese punto, todo es posible. Sin embargo, hay grandes desafíos. Un láser con un gigavatio de potencia proporcionaría solo unos pocos newtons de empuje. Pero la Nanocraft compensa esta limitación, ya que su masa es de tan solo unos pocos gramos. Los desafíos de ingeniería son inmensos. La Nanocraft debe resistir aceleraciones extremas, frío, vacío y protones, así como colisiones con basura cósmica y con polvo espacial. Además, enfocar en las velas solares un conjunto de láseres que suman cien gigavatios será difícil debido a la turbulencia atmosférica. ¿Cómo combinar cientos de láseres a través del movimiento de la atmósfera, cómo impulsar la Nanocraft sin incinerarla, y cómo enviarla en la dirección correcta? Además, necesitaríamos mantener la Nanocraft funcionando durante veinte años en un vacío gélido para que pueda enviar de vuelta señales a través de cuatro años luz de distancia. Pero esos son problemas de ingeniería y los desafíos de la ingeniería tienden, con el tiempo, a resolverse. A medida que se avanza en una tecnología madura se pueden prever otras misiones excitantes. Incluso con disposiciones de láser menos potentes, los tiempos de viaje a otros planetas, al sistema solar exterior o al espacio interestelar podrían reducirse enormemente.

Desde luego, esto no sería un viaje interestelar humano, aunque se podría ampliar a una nave tripulada. Ya no lo podríamos parar. Pero cuando finalmente podamos alcanzar los confines de la galaxia, será el momento en que la cultura humana devendrá interestelar. Y si Breakthrough Starshot lograra proporcionar imágenes de algún planeta habitable orbitando alrededor de nuestro vecino más cercano, podría ser de inmensa importancia para el futuro de la humanidad.

La era de los viajes espaciales civiles está llegando. ¿Qué cree que va significar para nosotros?

Me gustaría viajar al espacio. Yo sería uno de los primeros en comprar un billete. Espero que en los próximos cien años podamos viajar a cualquier lado del sistema solar, salvo quizás los planetas exteriores. Pero viajar a las estrellas requerirá un poco más de tiempo. Calculo que en quinientos años habremos visitado algunas de las estrellas más cercanas. No será como en Star Trek. No podremos viajar a la velocidad de las deformaciones del espacio. De manera que un viaje de ida y vuelta duraría como mínimo diez años y probablemente mucho más.

En conclusión, vuelvo a Einstein. Si encontramos un planeta en el sistema Alfa Centauri, su imagen, tomada por una cámara que viaja a un quinto de la velocidad de la luz, se distorsionará ligeramente debido a los efectos de la relatividad especial. Sería la primera vez que una nave espacial volaría lo suficientemente rápido para ver tales efectos. De hecho, la teoría de Einstein es central para toda la misión. Sin ella no tendríamos láseres ni la capacidad de realizar los cálculos necesarios para la orientación, la obtención de imágenes y la transmisión de datos a más de cuarenta billones de kilómetros, a una quinta parte de la velocidad de la luz.

Podemos ver un vínculo entre aquel adolescente de dieciséis años que soñó poder cabalgar en un rayo de luz, y nuestro propio sueño, que estamos planeando convertir en realidad, de montar nuestro propia haz de luz hacia a las estrellas. Estamos en el umbral de una nueva era. La colonización humana de otros planetas ya no es ciencia ficción sino que puede llegar a ser un hecho científico. Los humanos hemos existido como especie biológica durante aproximadamente dos millones de años. La civilización comenzó hace unos diez mil años, y la tasa de desarrollo ha ido en constante aumento. Para que la humanidad pueda durar otro millón de años, nuestro futuro se basa en ir audazmente donde nadie ha llegado antes.

Espero lo mejor. Tenemos que hacerlo así. No tenemos otra opción.

9

¿NOS SOBREPASARÁ LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL?



La inteligencia es fundamental para lo que significa ser humano. Todo lo que la civilización tiene para ofrecer, es producto de la inteligencia humana.

El ADN transmite los planos de la vida entre generaciones. Formas de vida cada vez más complejas captan información mediante sensores como ojos y oídos y la procesan en cerebros u otros sistemas para descubrir cómo reaccionar y luego actuar sobre el mundo, generando información para los músculos, por ejemplo. En algún momento durante nuestros 13.800 millones de años de historia cósmica, algo hermoso sucedió. Este procesamiento de información devino tan inteligente que las formas de vida llegaron a ser conscientes. El universo ha despertado y ha tomado conciencia de sí mismo. Considero un triunfo que nosotros, que somos polvo de estrellas, hayamos llegado a un nivel tan detallado de comprensión del universo en que vivimos.

Creo que no hay diferencia significativa entre cómo funciona el cerebro de una lombriz y cómo computa un ordenador. También creo que la evolución implica que no puede haber diferencia cualitativa entre el cerebro de una lombriz de tierra y el de un humano. Por lo tanto, los ordenadores pueden, en principio, emular la inteligencia humana o incluso superarla. Es

claramente posible que algo consiga adquirir una inteligencia superior a la de sus antepasados: evolucionamos para ser más inteligentes que nuestros simios antepasados, y Einstein era más inteligente que sus padres.

Si los ordenadores continúan siguiendo la ley de Moore, duplicando su velocidad y su capacidad de memoria cada dieciocho meses, el resultado será que los ordenadores probablemente adelantarán a los humanos en inteligencia en algún momento en los próximos cien años. Cuando una inteligencia artificial (IA) supere a los humanos en el diseño de más inteligencia artificial, de modo que pueda mejorarse recursivamente a sí misma sin ayuda humana, podemos enfrentarnos a una explosión de inteligencia que finalmente dé lugar a máquinas cuya inteligencia supere a la nuestra en más de lo que la nuestra supera a la de los caracoles. Cuando eso suceda, necesitaremos asegurarnos de que los ordenadores tengan objetivos compatibles con los nuestros. Resulta tentador descartar la noción de máquinas altamente inteligentes como mera ciencia ficción, pero esto sería un error, y potencialmente nuestro peor error.

Durante los últimos veinte años más o menos, la inteligencia artificial se ha centrado en los problemas relacionados con la construcción de agentes inteligentes, sistemas que perciben y actúan en algún entorno. En ese contexto, la inteligencia se relaciona con nociones estadísticas y económicas de racionalidad o, coloquialmente, con la capacidad de tomar buenas decisiones, planes o inferencias. Como resultado de este trabajo reciente, ha habido un alto grado de integración y fertilización cruzada entre inteligencia artificial, aprendizaje automático, estadística, teoría del control, neurociencia y otros campos. El establecimiento de marcos teóricos compartidos, combinado con la disponibilidad de datos y poder de procesamiento, ha producido éxitos notables en diversas tareas de componentes, tales como reconocimiento de voz, clasificación de imágenes, vehículos autónomos, traducción automática, locomoción articulada y sistemas de preguntas y respuestas.

A medida que el desarrollo en estas y otras áreas pase de la investigación de laboratorio a tecnologías económicamente valiosas, se producirá un círculo virtuoso en el que incluso pequeñas mejoras en rendimiento, valdrán

grandes sumas de dinero, lo que provocará más y mayores inversiones en investigación. Ahora existe un amplio consenso en cuanto a que la investigación en inteligencia artificial está progresando de manera sostenida, y que su impacto en la sociedad es probable que aumente. Los beneficios potenciales son enormes; no podemos predecir qué podremos lograr cuando esta inteligencia se incremente con las herramientas que la inteligencia artificial puede proporcionar: la erradicación de enfermedades y de la pobreza se haría posible. Debido al gran potencial de la IA, es importante investigar cómo obtener sus beneficios, al tiempo que se evitan riesgos potenciales. El éxito en la creación de inteligencia artificial sería el mayor acontecimiento en la historia de la humanidad.

Por desgracia, también podría ser el último, a menos que aprendamos cómo conjurar sus riesgos. Usada como una herramienta, la inteligencia artificial podría aumentar nuestra inteligencia actual y abrir avances en cada área de la ciencia y la sociedad. Sin embargo, también conllevará peligros. Mientras que las formas primitivas de inteligencia artificial desarrolladas hasta ahora han demostrado ser muy útiles, temo las consecuencias de crear algo que pueda igualar o superar a los humanos. La preocupación estriba en que la inteligencia artificial se perfeccionaría y se rediseñaría a sí misma a un ritmo cada vez mayor. Los humanos, que estamos limitados por la lenta evolución biológica, no podríamos competir con ella y seríamos superados. Y en el futuro, la inteligencia artificial podría desarrollar una voluntad propia, en conflicto con la nuestra. Muchos creen que los humanos podremos controlar el ritmo de la tecnología durante un tiempo suficientemente largo, y que el potencial de inteligencia artificial para resolver muchos de los problemas del mundo se realizará. Aunque soy un reconocido optimista con respecto a la especie humana, yo no estoy tan seguro de ello.

A corto plazo, por ejemplo, los militares del mundo están considerando comenzar una carrera armamentista en sistemas autónomos de armas, que pueden elegir y eliminar sus propios objetivos. Mientras la ONU está debatiendo un tratado que prohíba tales armas, los defensores de las armas autónomas por lo general olvidan hacer la pregunta más importante: cuál es el probable punto final de una carrera de armamentos y si es deseable para la

especie humana. ¿Realmente queremos armas baratas de inteligencia artificial para convertirlas en el Kalashnikov del mañana, vendidas a criminales y terroristas en el mercado negro? Dada la preocupación sobre nuestra capacidad de control a largo plazo de sistemas de IA cada vez más avanzados, ¿debemos armarlos y entregarles nuestra defensa? En 2010, sistemas de comercio informatizados crearon el mercado de valores Flash Crash. ¿Cómo sería un accidente provocado por un ordenador en el área de defensa? El mejor momento para detener la carrera de armamentos autónomos es ahora.

A medio plazo, la IA puede automatizar muchos trabajos y traer prosperidad e igualdad. Mirando hacia el futuro, no hay límites fundamentales para lo que se puede lograr. No hay ninguna ley física que impida que las partículas se organicen de maneras que hagan cálculos aún más avanzados que las disposiciones de partículas en los cerebros humanos. Es posible que la transición sea explosiva, aunque puede tomar una forma diferente que en las películas. Como advirtió el matemático Irving Good en 1965, las máquinas con inteligencia sobrehumana podrían mejorar repetidamente sus diseños aún más, activando lo que el escritor de ciencia ficción Vernor Vinge llamó una singularidad tecnológica. Se puede imaginar que una tecnología como esta consiga burlar a los mercados financieros, sobrepasar a los investigadores humanos, manipular a líderes humanos y someternos potencialmente con armas que ni siquiera podremos entender. Aunque el impacto a corto plazo de la IA depende de quién la controla, el impacto a largo plazo depende de si se puede controlar en absoluto.

En resumen, el advenimiento de la IA superinteligente sería lo mejor o lo peor que podría pasar en la historia de la humanidad. El riesgo real de la IA no es la maldad sino la competencia. Una IA superinteligente será extremadamente buena en el logro de sus objetivos, y si esos objetivos no van en la dirección de los nuestros tendremos problemas. Probablemente no sea usted un malvado que odia a las hormigas y que las pisa por pura maldad, pero si está a cargo de un proyecto de energía verde hidroeléctrica y hay un hormiguero en la región a ser inundada, eso será muy malo para las hormigas. No pongamos a la humanidad en la posición de esas hormigas. Debemos

planificar por adelantado. Si una civilización alienígena superior nos enviara un mensaje diciendo: «Llegaremos en unas pocas décadas», ¿podríamos responder: «OK, llámenos cuando llegue; dejaremos las luces encendidas»? Probablemente no, pero esto es más o menos lo que ha sucedido con la inteligencia artificial. Se ha dedicado poca investigación seria a estos temas, aparte de algunos pequeños institutos sin finalidad de lucro.

Afortunadamente, esto ahora está cambiando. Los pioneros de la tecnología Bill Gates, Elon Musk y Steve Wozniak se han hecho eco de mis preocupaciones, y una cultura saludable de evaluación de riesgos y conciencia de las implicaciones sociales está comenzando a echar raíces en la comunidad de la IA. En enero de 2015, junto con el empresario tecnológico Elon Musk y muchos otros expertos en inteligencia artificial, firmé una carta abierta que exige una investigación seria sobre su impacto en la sociedad. Elon Musk había ya advertido de que es posible que una inteligencia artificial sobrehumana proporcione incalculables beneficios, pero también de que si se despliega incautamente tendrá un efecto adverso para la especie humana. Él y yo formamos parte de la junta asesora científica del Future of Life Institute, una organización que trabaja para mitigar los riesgos existenciales con que se enfrenta la humanidad y que redactó la citada carta abierta. Esto requirió una investigación concreta sobre cómo podríamos prevenir problemas potenciales, a la vez que cosechamos los beneficios potenciales que la IA nos ofrece, y está pensado para lograr que los investigadores y desarrolladores en IA presten más atención a la seguridad de la IA. Además, para los formuladores de políticas y para el público en general, la carta pretendía ser informativa pero no alarmista. Creemos que es muy importante que todo el mundo sepa que los investigadores de IA están pensando seriamente en estas preocupaciones y problemas éticos. Por ejemplo, la IA tiene el potencial de erradicar enfermedades y pobreza, pero los investigadores deben trabajar para crear IA que pueda controlarse.

En octubre de 2016, abrí un nuevo centro en Cambridge, Inglaterra, que intentará abordar algunas de las preguntas abiertas planteadas por el rápido ritmo de desarrollo de la investigación en IA. El Centro Leverhulme para el Futuro de la Inteligencia es un instituto multidisciplinario dedicado a

investigar el futuro de la inteligencia, tan crucial para el futuro de nuestra civilización y nuestra especie. Pasamos mucho tiempo estudiando historia que, seamos sinceros, es sobre todo la historia de la estupidez. Así pues, es un cambio bienvenido que la gente esté estudiando, en lugar de eso, el futuro de la inteligencia. Somos conscientes de los peligros potenciales, pero tal vez con las herramientas de esa nueva revolución tecnológica podremos deshacer parte de los daños causados al mundo natural por la industrialización.

Los avances recientes en inteligencia artificial han suscitado un llamamiento al Parlamento Europeo para que redacte un conjunto de regulaciones que rijan la creación de robots e IA. Algo sorprendentemente, esto incluye una forma de personalidad electrónica, con objeto de garantizar los derechos y responsabilidades para la IA más capaz y avanzada. Un portavoz del Parlamento Europeo ha comentado que a medida que aumenta el número de áreas en la vida cotidiana afectadas por robots, debemos asegurarnos de que los robots estén, y permanezcan, al servicio de los humanos. Un informe presentado a los diputados del Parlamento Europeo declara que el mundo está en la cumbre de una nueva revolución de robots industriales. Examina si sería o no permisible proporcionar derechos legales a los robots como personas electrónicas, en paralelo a la definición legal de personalidad corporativa, pero subraya que en todo momento los investigadores y diseñadores deberían garantizar que todo diseño robótico incorpore un interruptor de muerte.

Esto no ayudó a los científicos a bordo de la nave espacial con Hal, el robot computerizado que funciona mal en la película 2001. Una odisea del espacio, de Stanley Kubrick, pero aquello era ficción. Ahora nos ocupamos de hechos reales. Lorna Brazell, socia del bufete de abogados multinacional Osborne Clarke, dice en el informe que no hemos otorgado personalidad jurídica a las ballenas ni a los gorilas, por lo cual no hay necesidad de saltar a la personalidad robótica. Pero conviene una cierta cautela: el informe reconoce la posibilidad de que, en unas pocas décadas, la IA podría superar la capacidad intelectual humana y desafiar la relación humano-robot.

Para 2025, habrá alrededor de treinta megaciudades, cada una con más de diez millones de habitantes. Con toda esa gente reclamando que se les

entregue bienes y servicios cada vez que los quieran, ¿podrá ayudarnos la tecnología a seguir el ritmo de nuestro anhelo de comercio instantáneo? Los robots definitivamente acelerarán el proceso minorista en línea, pero para revolucionar realmente las compras deben ser lo suficientemente rápidos para permitir la entrega en el mismo día del pedido.

Las oportunidades para interactuar con el mundo sin tener que estar físicamente presente están aumentando rápidamente. Como se puede imaginar, me parece atractivo, sobre todo porque la vida urbana está tan ocupada para todos. ¿Cuántas veces hemos deseado tener un doble que pudiera compartir nuestra carga de trabajo? Crear sustitutos digitales realistas de nosotros mismos es un sueño ambicioso, y la última tecnología sugiere que quizás no sea una idea tan descabellada como parece.

Cuando era más joven, el auge de la tecnología apuntaba a un futuro en el que todos disfrutaríamos de más tiempo libre pero, de hecho, cuanto más podemos hacer más atareados estamos. Nuestras ciudades ya están llenas de máquinas que amplían nuestras capacidades, pero ¿y si pudiéramos estar en dos lugares al mismo tiempo? Estamos acostumbrados a voces automatizadas en sistemas telefónicos y anuncios públicos. Ahora, el inventor Daniel Kraft está investigando cómo podemos replicarnos visualmente. La pregunta es: ¿hasta qué punto puede llegar a resultar convincente un avatar?

Los tutores interactivos podrían ser útiles para cursos masivos abiertos en línea (MOOC) y para el entretenimiento, y podría ser realmente emocionante. Actores digitales que serían siempre jóvenes y capaces de realizar hazañas imposibles. Nuestros futuros ídolos quizás ni siquiera sean reales.

De qué manera nos conectamos con el mundo digital es clave para el progreso que haremos en el futuro. En las ciudades más inteligentes, las casas más inteligentes estarán equipadas con dispositivos intuitivos; casi no requerirá esfuerzo interactuar con ellos.

Cuando se inventó la máquina de escribir, se liberó la forma en que interactuamos con las máquinas. Casi ciento cincuenta años después, las pantallas táctiles han desbloqueado nuevas formas de comunicarse con el mundo digital. Hitos recientes de la IA, como automóviles autónomos, o una computadora capaz de ganar en el juego de Go, son signos de lo que está por

venir. Se están dedicando enormes niveles de inversión a esta tecnología, que ya forma una parte importante de nuestras vidas. En las décadas venideras, impregnará todos los aspectos de nuestra sociedad, apoyándonos y aconsejándonos de manera inteligente en muchas áreas, incluyendo cuidado de la salud, trabajo, educación y ciencia. Los logros que hemos visto hasta ahora seguramente palidecerán en comparación con lo que traerán las próximas décadas, y no podemos predecir lo que podremos lograr cuando nuestras propias mentes se amplifiquen por IA.

Quizás con las herramientas de esta nueva revolución tecnológica podremos mejorar la vida humana. Por ejemplo, los investigadores están desarrollando IA que ayudaría a revertir la parálisis en personas con lesiones de la médula espinal. Mediante el uso de implantes de chips de silicio e interfaces electrónicas inalámbricas entre el cerebro y el cuerpo, la tecnología permite a las personas controlar sus movimientos corporales con sus pensamientos.

Creo que el futuro de la comunicación son las interfaces cerebro-ordenador. Las hay de dos tipos: electrodos en el cráneo e implantes. Lo primero es como mirar a través de un vidrio esmerilado; lo segundo es mejor, pero se corre el riesgo de infección. Si podemos conectar un cerebro humano a Internet le permitirá tener toda la Wikipedia entre sus recursos.

El mundo ha ido cambiando cada vez más rápido a medida que las personas, los dispositivos y la información han ido estando más conectados entre sí. El poder computacional está creciendo y la informática cuántica se está desarrollando rápidamente. Esto revolucionará la inteligencia artificial con velocidades exponencialmente más rápidas y con encriptaciones más eficaces. Los ordenadores cuánticos lo cambiarán todo, incluso la biología humana. Ya existe una técnica para editar con precisión el ADN, es el llamado CRISPR. La base de esta tecnología de edición del genoma es un sistema de defensa de las bacterias. La mejor intención de la manipulación genética es que la modificación de los genes permita a los científicos tratar las causas genéticas de enfermedades mediante la corrección de mutaciones en los genes. Hay, sin embargo, posibilidades menos nobles de manipular el ADN. Cuán lejos se pueda llegar con la ingeniería genética se convertirá en

una cuestión cada vez más urgente. No podemos ver las posibilidades de curar las enfermedades de las neuronas motoras, como mi ELA, sin vislumbrar sus peligros.

La inteligencia se caracteriza por la capacidad de adaptarse a los cambios. La inteligencia humana es el resultado de muchas generaciones de selección natural, de aquellos con la capacidad de adaptarse a circunstancias cambiantes. No debemos temer el cambio. Tenemos que hacer que funcione a nuestro favor.

¿Por qué está tan preocupado por la inteligencia artificial? ¿Los humanos no seremos siempre capaces de desconectarla?

Preguntaron a un ordenador: «¿Existe algún Dios?». Y el ordenador dijo: «Ya hay uno». Y fundió los plomos.

Todos tenemos un papel que desempeñar para asegurarnos de que nosotros, y la próxima generación, no solo tengamos la oportunidad sino también la determinación de participar plenamente en el estudio de la ciencia desde una edad temprana, para poder continuar desarrollando nuestro potencial y creando un mundo mejor para el conjunto de la especie humana. Necesitamos llevar el aprendizaje más allá de una discusión teórica sobre cómo debería ser la IA y tomar medidas para asegurarnos de que sea tal como debe ser. Todos tenemos el potencial de ampliar los límites de lo que se acepta o se espera, y de pensar a lo grande. Nos hallamos en el umbral de un mundo nuevo y prometedor. Es un lugar excitante, aunque precario, y nosotros somos los pioneros.

Cuando inventamos el fuego, nos equivocamos repetidamente y luego inventamos el extintor. Pero con tecnologías más poderosas como por ejemplo armas nucleares, biología sintética e inteligencia artificial fuerte, deberíamos planificar el futuro y tratar de hacer las cosas bien a la primera, porque puede ser la única oportunidad que tengamos. Nuestro futuro es una carrera entre el poder creciente de nuestra tecnología y la sabiduría con que la

usemos. Asegurémonos de que gane la sabiduría.

10

¿CÓMO DAMOS FORMA AL FUTURO?



Hace un siglo, Albert Einstein revolucionó nuestra comprensión del espacio, el tiempo y la energía. Todavía estamos encontrando confirmaciones asombrosas de sus predicciones, como las ondas gravitacionales observadas en 2016 por el experimento LIGO. Al pensar en la inteligencia, Einstein me viene a la mente. ¿De dónde vienen sus magníficas ideas? Tal vez de una mezcla de cualidades: intuición, originalidad, brillantez. Einstein tenía la capacidad de mirar más allá de la superficie y de revelar la estructura subyacente. No se sentía impresionado por el sentido común, por la idea de que las cosas deben ser tal como parecen. Tuvo el coraje de explorar ideas que parecían absurdas para otros, y esto lo liberó para ser ingenioso, un genio de su tiempo y de todos los tiempos.

Un elemento clave para Einstein fue la imaginación. Muchos de sus descubrimientos vinieron de su capacidad para volver a imaginar el universo mediante experimentos mentales. Cuando tenía dieciséis años, al soñar que cabalgaba en un rayo de luz se dio cuenta de que desde este punto de vista la luz aparecía como una onda congelada. Esa imagen le condujo finalmente a la teoría de la relatividad especial.

Cien años después, los físicos saben mucho más sobre el universo de lo que sabía Einstein. Ahora tenemos instrumentos mayores para los descubrimientos, como aceleradores de partículas, supercomputadoras, telescopios espaciales y experimentos como el trabajo del laboratorio LIGO en ondas gravitacionales. Pero la imaginación sigue siendo nuestro atributo más poderoso, con el cual podemos recorrer cualquier lugar del espacio y del tiempo. Podemos presenciar los fenómenos más exóticos de la naturaleza mientras conducimos un automóvil, dormitamos en la cama, o fingimos estar escuchando a alguien aburrido en una fiesta.

Cuando era niño, me sentía apasionadamente interesado en cómo funcionaban las cosas. En aquellos días, era más sencillo que hoy desmontar algo y descubrir su mecánica. No siempre conseguí volver a montar los juguetes que había desmontado pero creo que aprendí más de lo que lo haría un niño o una niña de hoy que intentara hacer lo mismo con un teléfono inteligente.

Mi trabajo continúa siendo descubrir cómo funcionan las cosas, solo que la escala ha cambiado. Ya no destruyo trenes de juguete entrenándome sino que trato de descubrir cómo funciona el universo, mediante las leyes de la física. Si sabes cómo funciona algo, puedes controlarlo. ¡Suena tan simple decirlo así! Es un esfuerzo absorbente y complejo que me ha fascinado y emocionado a lo largo de toda mi vida adulta. He trabajado con algunos de los mejores científicos del mundo. He tenido la suerte de vivir lo que ha sido una etapa gloriosa en mi campo de elección, la cosmología, el estudio de los orígenes del universo.

La mente humana es algo increíble. Puede concebir la magnificencia de los cielos y las complejidades de los componentes básicos de la materia. Sin embargo, para que cada mente alcance su plenitud potencial, necesita una chispa, la chispa de la investigación y del asombro.

A menudo esa chispa proviene de un maestro. Permítanme explicarles. Yo no era la persona más fácil de enseñar, tardé en aprender a leer y mi letra era desordenada. Pero cuando tenía catorce años, mi profesor en mi escuela en Saint Albans, Dikran Tahta, me mostró cómo dominar mi energía y me animó a pensar creativamente sobre las matemáticas. Él abrió mis ojos a las

matemáticas como plano del universo mismo. Si miramos bien, detrás de cada persona excepcional hay un maestro excepcional. Cuando cada uno de nosotros piensa en lo que podemos hacer en la vida, lo más probable es que pueda hacerlo gracias a un maestro.

Sin embargo, la educación y la investigación científica y tecnológica están en peligro ahora más que nunca. Debido a la reciente crisis financiera mundial y a las medidas de austeridad, la financiación se está reduciendo significativamente en todas las áreas de la ciencia, pero en particular las ciencias fundamentales se han visto gravemente afectadas. También corremos el peligro de aislarnos culturalmente e insularizarnos, cada vez más alejados de donde se está progresando. Al nivel de investigación, el intercambio de personas permite que las habilidades se transfieran más rápidamente y pone en contacto a nuevas personas con diferentes ideas, derivadas de sus diferentes orígenes. Esto puede facilitar el progreso, pero ahora este progreso será más difícil. Desafortunadamente, no podemos retroceder. Con el Brexit y Trump ejerciendo ahora nuevas fuerzas en la inmigración y en el desarrollo de la educación estamos siendo testigos de una revuelta mundial contra los expertos, que incluye a los científicos. ¿Qué podemos hacer para asegurar el futuro de la educación en ciencia y tecnología?

Vuelvo a mi maestro, el señor Tahta. La base del futuro de la educación debe estar en las escuelas y en maestros inspiradores. Pero las escuelas solo pueden ofrecer un marco básico donde a veces un aprendizaje tedioso, las ecuaciones y los exámenes pueden alejar a los niños de la ciencia. La mayoría de la gente responde a una comprensión cualitativa, en lugar de cuantitativa, sin necesidad de ecuaciones complicadas. Los libros y artículos de divulgación científica también pueden transmitir ideas sobre la manera en que vivimos, pero incluso el libro de mayor éxito es leído tan solo por un pequeño porcentaje de la población. Los documentales y películas de ciencia llegan a un público masivo, pero es solo una forma unidireccional de comunicación.

Cuando comencé a trabajar en el campo de la cosmología en la década de 1960, esta era una rama oscura y excéntrica de estudio científico. Hoy, a través del trabajo teórico y los triunfos experimentales como el Gran Colisionador de Hadrones y el descubrimiento del bosón de Higgs, la

cosmología nos ha abierto el universo. Todavía quedan grandes preguntas por responder y queda mucho trabajo por delante, pero ahora sabemos más y hemos logrado más en este lapso de tiempo relativamente corto, de lo que nadie podría haber imaginado.

Pero ¿qué espera a los que son jóvenes ahora? Puedo decir con confianza que su futuro dependerá más de la ciencia y de la tecnología que en cualquier generación anterior. Necesitarán saber sobre la ciencia más que en cualquier tiempo anterior porque forma parte de sus vidas diarias de una manera sin precedentes.

Sin especular demasiado, hay tendencias que podemos ver y problemas emergentes que debemos saber tratar, ahora y en el futuro. Entre estos cuento el calentamiento global, encontrar espacio y recursos para el aumento masivo de la población humana de la Tierra, la rápida extinción de otras especies, la necesidad de desarrollar fuentes de energía renovables, la degradación de los océanos, la deforestación y las enfermedades epidémicas, por mencionar solo algunos.

También habrá los grandes inventos del futuro, que revolucionarán la forma de vivir, de trabajar, de comer, de comunicarse y de viajar, con un alcance enorme para la innovación en cada área de la vida. Esto es excitante. Podremos extraer metales raros en la Luna, establecer una avanzadilla humana en Marte y buscar curas y tratamientos para enfermedades que actualmente no tienen esperanza. Las grandes preguntas de la existencia siguen sin respuesta: ¿cómo comenzó la vida en la Tierra? ¿Qué es la conciencia? ¿Hay alguien por ahí o estamos solos en el universo? Estas son preguntas que harán trabajar a la próxima generación.

Algunos piensan que la humanidad de hoy es el pináculo de la evolución y que esto es todo lo que se puede conseguir. No estoy de acuerdo. Debería haber algo muy especial en las condiciones de contorno de nuestro universo, y ¿qué puede ser más especial que no haya fronteras? Y no debería haber un límite para el esfuerzo humano. Tal como lo veo, tenemos dos opciones para el futuro de la humanidad: primero, la exploración del espacio para planetas alternativos en que vivir, y segundo, el uso positivo de la inteligencia artificial para mejorar el mundo.

La Tierra se nos va quedando demasiado pequeña. Los recursos físicos están siendo drenados a un ritmo alarmante. La humanidad ha hecho a nuestro planeta el obsequio desastroso del cambio climático, la contaminación, el aumento de las temperaturas, la reducción de los casquetes de hielo polar, la deforestación y el diezmamiento de especies animales. Nuestra población también está aumentando a un ritmo alarmante. Frente a esas cifras, está claro que ese crecimiento casi exponencial de la población no puede continuar en el próximo milenio.

Otra razón para considerar la colonización de otro planeta es la posibilidad de una guerra nuclear. Hay una teoría que dice que el motivo por el que no nos han contactado extraterrestres es porque, cuando una civilización alcanza nuestra etapa de desarrollo, se vuelve inestable y se destruye a sí misma. Ahora tenemos el poder tecnológico para destruir a todas las criaturas vivientes de la Tierra. Como hemos visto en acontecimientos recientes en Corea del Norte, este es un pensamiento aleccionador y preocupante.

Pero creo que podemos evitar ese Armagedón potencial, y una de las mejores maneras para poderlo lograr es mudarnos al espacio y explorar el potencial de los humanos para vivir en otros planetas.

El segundo desarrollo que tendrá un impacto en el futuro de la humanidad es el aumento de inteligencia artificial.

La investigación en inteligencia artificial está progresando rápidamente. Logros recientes de interés como los automóviles autónomos, un ordenador campeón de Go y los ayudantes personales digitales Siri, Google Now y Cortana son simplemente síntomas de una carrera de armamentos de tecnologías inteligentes, alimentada por una cifra de inversiones sin precedentes y construida sobre una base teórica cada vez más madura. Tales logros probablemente palidecerán en comparación con lo que traerán las próximas décadas.

Pero el advenimiento de la inteligencia artificial superinteligente sería lo mejor, o lo peor, que le haya pasado a la humanidad. No podemos saber si seremos infinitamente ayudados por la inteligencia artificial, o ignorados y marginados, o quién sabe si destruidos, por ella. Soy un optimista, y creo que

podemos crear inteligencia artificial para el bien del mundo y que puede funcionar en armonía con nosotros. Simplemente debemos ser conscientes de los peligros, identificarlos, emplear la mejor práctica y gestión posibles, y prepararnos con mucha antelación para sus consecuencias.

La tecnología tiene un gran impacto en mi vida. Hablo a través de un ordenador. Me he beneficiado de tecnología asistida que me ha dado una voz que mi enfermedad me ha quitado. Tuve la suerte de perder mi voz al comienzo de la era de la informática personal. Intel me ha estado apoyando durante más de veinticinco años, lo que me permite hacer todos los días lo que me gusta. En esos años el mundo, y el impacto de la tecnología en él, ha cambiado drásticamente. La tecnología ha alterado la forma en que vivimos nuestras vidas, desde la comunicación a la investigación genética, el acceso a la información y mucho, mucho más. A medida que la tecnología se fue volviendo más inteligente, me fue abriendo puertas a posibilidades que jamás habría sido capaz de predecir. La tecnología que ahora se está desarrollando para apoyar a las personas con alguna discapacidad es líder en su forma de derribar las barreras de comunicación que alguna vez se interpusieron en el camino. Es a menudo un buen terreno de prueba para la tecnología del futuro. De voz a texto, de texto a voz, la automatización del hogar, la conducción por cable, incluso el Segway, se desarrollaron para los discapacitados, años antes de pasar a ser de uso diario. Esos logros tecnológicos se deben a la chispa de fuego interior de nuestra fuerza creativa. Esta creatividad puede tomar muchas formas, desde proezas en actividades físicas hasta la física teórica.

Pero sucederán muchas más cosas. Las interfaces cerebrales podrían hacer que este medio de comunicación —utilizado por más y más personas— sea más rápido y más expresivo. Ahora uso Facebook, que me permite hablar directamente con mis amigos y seguidores en todo el mundo para que puedan mantenerse al día de mis últimas teorías y ver fotos de mis viajes. También significa que puedo ver lo que mis hijos están haciendo realmente, en lugar de lo que me dicen que están haciendo.

Así como Internet, los teléfonos móviles, las imágenes médicas, la navegación por satélite y las redes sociales hubieran resultado incomprensibles para la sociedad de hace solo un par de generaciones,

nuestro mundo futuro se transformará por igual en formas que solo estamos comenzando a concebir. La información por sí misma no nos llevará allí, pero sí lo hará su uso inteligente y creativo.

Hay mucho más por venir y espero que sea una gran fuente de inspiración para los escolares de hoy. Pero tenemos un papel que desempeñar para asegurarnos de que esta generación no solo tenga la oportunidad sino también el deseo de participar plenamente en el estudio de la ciencia desde una edad temprana para que puedan continuar desarrollando todo su potencial y creando un mundo mejor para toda la especie humana. Y creo que el futuro del aprendizaje y la educación es Internet. La gente puede responder e interactuar. En cierta manera, Internet nos conecta a todos como las neuronas de un cerebro gigante. Y con tal cociente intelectual, ¿de qué no seremos capaces?

Cuando era pequeño todavía parecía aceptable —no para mí sino en términos sociales— decir que uno no estaba interesado en la ciencia y no veía el sentido de molestarse por ello, pero este ya no es el caso. Permítanme ser claro: no estoy promoviendo la idea de que todos los jóvenes deban ser científicos. No me parecería una situación ideal ya que el mundo necesita personas con una amplia variedad de habilidades. Pero defiendo que todos los jóvenes necesitan familiaridad y confianza en temas científicos, sea lo que sea que elijan hacer. Necesitan estar científicamente alfabetizados, sin ansiedad sobre temas científicos e inspirados para involucrarse en desarrollos en ciencia y en tecnología para aprender aún más.

Un mundo donde solo una pequeña élite sea capaz de entender la ciencia y la tecnología avanzadas y sus aplicaciones sería, en mi opinión, peligroso y limitado. Dudo muy seriamente que se diera prioridad a proyectos beneficiosos a largo plazo como la limpieza de los océanos o la curación de enfermedades de los países en desarrollo. Peor aún, podríamos encontrarnos con que la tecnología se usara contra nosotros y es posible que no tuviéramos poder para detenerla.

No creo en las fronteras, ni en lo que podemos hacer en nuestra vida personal ni en lo que la vida y la inteligencia puedan lograr en nuestro universo. Nos hallamos en el umbral de descubrimientos importantes en todas

las áreas de la ciencia. Sin duda, nuestro mundo cambiará enormemente en los próximos cincuenta años. Descubriremos qué sucedió en el Big Bang. Comprenderemos cómo comenzó la vida en la Tierra. Incluso podremos descubrir si hay vida en otros lugares del universo. Si bien las posibilidades de comunicarnos con especies extraterrestres inteligentes pueden ser escasas, la importancia de tal descubrimiento significa que no debemos renunciar a intentarlo. Continuaremos explorando el hábitat cósmico, enviando robots y humanos al espacio. No podemos seguir ensimismados en nosotros en un planeta pequeño y cada vez más contaminado y superpoblado. A través del esfuerzo científico y de la innovación tecnológica, debemos mirar hacia el universo más amplio, mientras también nos esforzamos por arreglar los problemas en la Tierra. Soy optimista de que finalmente crearemos hábitats viables para la especie humana en otros planetas. Trascenderemos la Tierra y aprenderemos a existir en el espacio.

Este no es el final de la historia, sino solo el comienzo de lo que espero sean miles de millones de años de vida floreciendo en el cosmos.

Y un comentario final: nunca sabemos realmente dónde se producirá el próximo gran descubrimiento científico, ni quién lo hará. Abrir las mentes a la emoción y el asombro del descubrimiento científico, crear formas innovadoras y accesibles para llegar a una audiencia joven lo más amplia posible, aumenta en gran medida las posibilidades de encontrar e inspirar al nuevo Einstein, sea donde sea que ella se halle.

Así que recordemos mirar a las estrellas y no a los pies. Intentemos dar sentido a lo que vemos y preguntémonos qué es lo que hace que el universo exista. Seamos curiosos. Y por difícil que la vida pueda parecer, siempre hay algo que podemos hacer y conseguir. Importa que no nos rindamos. Demos rienda suelta a nuestra imaginación. Demos forma al futuro.

¿Qué idea, grande o pequeña, de las que cambian el mundo quisiera ver implementada por la humanidad?

Es fácil. Me gustaría ver el desarrollo de la fusión nuclear para proporcionar una cantidad ilimitada de energía limpia, y el paso a coches

eléctricos. La fusión nuclear se convertiría en una fuente de energía práctica e inagotable, sin contaminación ni cambio climático.

Epílogo
Lucy Hawking

En el gris lúgubre de un día de primavera en Cambridge, nos pusimos en marcha una comitiva de coches negros hacia la iglesia de Great St Mary, la iglesia universitaria en la cual, por tradición, se ofician los funerales de los académicos distinguidos. Fuera, las calles parecían enmudecidas. Cambridge parecía vacío, sin que se viera ni tan siquiera algún turista despistado. Las únicas manchas de color venían de las luces intermitentes azules de las motos de los policías que nos precedían, dando escolta al coche fúnebre que llevaba el ataúd de mi padre, y que detenían el tráfico escaso con que de vez en cuando nos cruzábamos.

Y entonces giramos hacia la izquierda. Y vimos las multitudes, agolpándose a lo largo de una de las calles más identificables del mundo, la King's Parade, en el corazón mismo de Cambridge. Nunca he visto tanta gente tan callada. Con banderolas, banderas, cámaras y teléfonos móviles alzados, el gentío alineado a lo largo de las calles mantuvo un respetuoso silencio cuando el portero jefe de Gonville y Caius, el college de mi padre en Cambridge, vestido de ceremonia con su sombrero bombín y su bastón de ébano, anduvo solemnemente a lo largo de la calle para venir al encuentro del coche fúnebre y guiarlo hasta la iglesia.



Mi tía me estrujó la mano y ambas empezamos a llorar. «Esto le hubiera gustado», me susurró.

Desde que mi padre murió, ¡han sucedido tantas cosas que le hubieran gustado, tantas cosas que me hubiera gustado que hubiera podido conocer! Me habría gustado que hubiera podido ver la extraordinaria efusión de afecto hacia él, procedente de todas partes del mundo. Me hubiera gustado que hubiera sabido hasta qué punto era amado y respetado por millones de personas con quien jamás se había cruzado. Me hubiera gustado que hubiera llegado a saber que sería enterrado en la abadía de Westminster, entre dos de sus héroes científicos, Isaac Newton y Charles Darwin, y que mientras sus cenizas eran depositadas en el suelo su voz sería transmitida por un radiotelescopio hacia un agujero negro.

Pero también se habría preguntado a qué venía toda aquella consternación. Era un hombre sorprendentemente modesto que, aunque adoraba estar en primer plano, parecía desconcertado por su propia fama. Una frase de este libro me vino a la mente: «Si he hecho alguna contribución». Es la única persona que habría incluido este «si» en esta frase. Creo que cualquier otro habría estado muy seguro de que sí había hecho tal contribución.

Y ¡de qué contribución se trata!: tanto por la grandiosa amplitud de su trabajo en cosmología, explorando la estructura y los orígenes del universo, como por su coraje y su humor tan profundamente humanos frente a sus dificultades. Halló la manera de desbordar las fronteras del conocimiento superando, al mismo tiempo, los límites de la resistencia humana. Creo que fue esta combinación la que lo hizo tan icónico y al mismo tiempo tan accesible, tan próximo. Sufrió pero perseveró. Comunicarse le exigía un gran esfuerzo, pero lo hizo, adaptando constantemente su equipo a medida que iba perdiendo movilidad. Seleccionaba sus palabras con precisión, de manera que tuvieran el máximo impacto cuando fueran pronunciadas en aquella voz electrónica plana que se hacía tan peculiarmente expresiva cuando él la utilizaba. Cuando hablaba, la gente le escuchaba, tanto si se trataba de sus impresiones sobre el sistema nacional de salud o sobre la expansión del universo, sin dejar escapar ninguna oportunidad de incluir algún chiste,

contado de la forma más monótona pero con un parpadeo cómplice en sus ojos.

Mi padre era también un hombre de familia, un hecho ignorado por la mayoría de la gente hasta el estreno de la película La teoría del todo, en 2014. Ciertamente, en la década de 1970 no era habitual encontrar una persona minusválida que tuviera mujer e hijos propios con un sentido tan acusado de autonomía e independencia. Cuando yo era una niña, me desagradaba intensamente la manera como algunos extraños se sentían con derecho a observarnos, a veces con la boca abierta, mientras mi padre conducía su silla de ruedas a velocidades alocadas por Cambridge, acompañado por dos criaturas con pelo rubio que corrían a su lado mientras intentaban comerse un helado. Yo acostumbraba a devolverles la mirada pero dudo que mi indignación llegara jamás a su objetivo, especialmente al proceder de un rostro infantil manchado de caramelo fundido.

No fue, en ningún aspecto imaginable, una niñez normal. Yo lo sabía —y a veces lo ignoraba—. Creía que era perfectamente normal hacer un montón de preguntas maduras y comprometedoras, porque es lo que hacíamos en casa. Solo fue cuando supuestamente hice llorar a un vicario con mi examen detallado de su demostración de la existencia de Dios que me empecé a dar cuenta de que todo aquello resultaba inesperado.

De niña, no me consideraba especialmente interrogativa —creía que lo era mi hermano mayor que, como suele suceder con los hermanos mayores, quería ser más listo que yo en cada ocasión (como sigue ocurriendo ahora)—. Recuerdo unas vacaciones familiares que, como tantas otras vacaciones familiares, coincidía misteriosamente con alguna conferencia de física en el extranjero. Mi hermano y yo asistíamos a algunas de las conferencias —presumiblemente, para dar a mi madre un pequeño respiro en sus agobiantes tareas de cuidadora—. En aquella época, las conferencias de física no eran divulgativas, ni mucho menos para niños. Yo me sentaba, garabateando en mi cuaderno, pero mi hermano levantaba su brazo flacucho de adolescente y hacía una pregunta al distinguido conferenciante mientras mi padre resplandecía de orgullo.

A menudo me preguntan: «¿Qué tal es eso de ser hija de Stephen

Hawking?», e inevitablemente no hay ninguna respuesta breve que pueda satisfacer las expectativas. Puedo decir que los momentos buenos eran muy buenos, los momentos malos eran muy malos, y entre ellos había unos espacios que acostumbrábamos a llamar «normales» —para nosotros, ahora que lo vemos como adultos, lo que aceptábamos como normal no lo habría sido para nadie más—. A medida que el tiempo va atenuando el dolor más vivo, he reflexionado que procesar nuestras experiencias me podría ocupar muchísimo tiempo. En cierta manera, ni tan siquiera estoy segura de desearlo. A veces, solo quiero agarrarme a las últimas palabras que me dijo mi padre: que había sido una hija muy agradable y que no debía tener miedo a nada. Nunca seré tan valiente como él —por naturaleza, no soy una persona demasiado valerosa—, pero él me mostró que lo podía intentar. Y que el hecho de intentarlo ya era por sí mismo la parte más importante del coraje.

Mi padre jamás se rindió, jamás se escabulló de la lucha. A los setenta y cinco años, completamente paralizado y capaz de mover tan solo unos pocos músculos faciales, todavía se levantaba cada día e iba a trabajar. Tenía talla para hacerlo y no habría permitido que unas pocas trivialidades se interpusieran en su camino. Pero debo decir que si hubiera podido ver los motoristas de la escolta de policía, les hubiera pedido que le acompañaran cada día a través de los semáforos desde su casa de Cambridge hasta su despacho.

Felizmente, él estaba al corriente de este libro. Era uno de los proyectos en que estaba trabajando en el que debía de ser su último año en la Tierra. Su idea era reunir sus escritos contemporáneos en un volumen. Como tantas otras cosas que han pasado desde que murió, me hubiera gustado que hubiera podido ver la versión final. Creo que se habría sentido orgulloso de este libro e incluso debería haber admitido, en último término, que al fin y al cabo había hecho verdaderamente una contribución.

LUCY HAWKING, Julio de 2018

Agradecimientos

La administración del legado de Stephen Hawking (Stephen Hawking Estate) quiere agradecer a Kip Thorne, Eddie Redmayne, Paul Davies, Seth Shostak, Dame Stephanie Shirley, Tom Nabarro, Martin Rees, Malcolm Perry, Paul Shellard, Robert Kirby, Nick Davies, Kate Craigie, Chris Simms, Doug Abrams, Jennifer Hershey, Anne Speyer, Anthea Bain, Jonathan Wood, Elizabeth Forrester, Yuri Milner, Thomas Hertog, Ma Hauteng, Ben Bowie y Fay Dowker su ayuda en la compilación de este libro.

Stephen Hawking era muy conocido por sus colaboraciones científicas y creativas a lo largo de su carrera, desde el trabajo con colegas en artículos científicos rompedores hasta la colaboración con guionistas de series de televisión, como el equipo de Los Simpson. En sus últimos años, Stephen necesitó un nivel cada vez mayor de ayuda por parte de los que le rodeaban, tanto técnicamente como en términos de soporte a la comunicación. La administración del legado de Stephen Hawking quiere manifestar su agradecimiento a aquellos que ayudaron a Stephen a mantenerse comunicado con el mundo.

Nota

[1] Los premios Nobel no pueden ser otorgados a título póstumo, de manera que, tristemente, esa ambición nunca podrá ser realizada.

Breves respuestas a las grandes preguntas
Stephen Hawking

Título original: Brief Answers To The Big Questions

Av. Diagonal, 662-664, 08034 Barcelona (España)
Crítica es un sello editorial de Editorial Planeta, S. A.

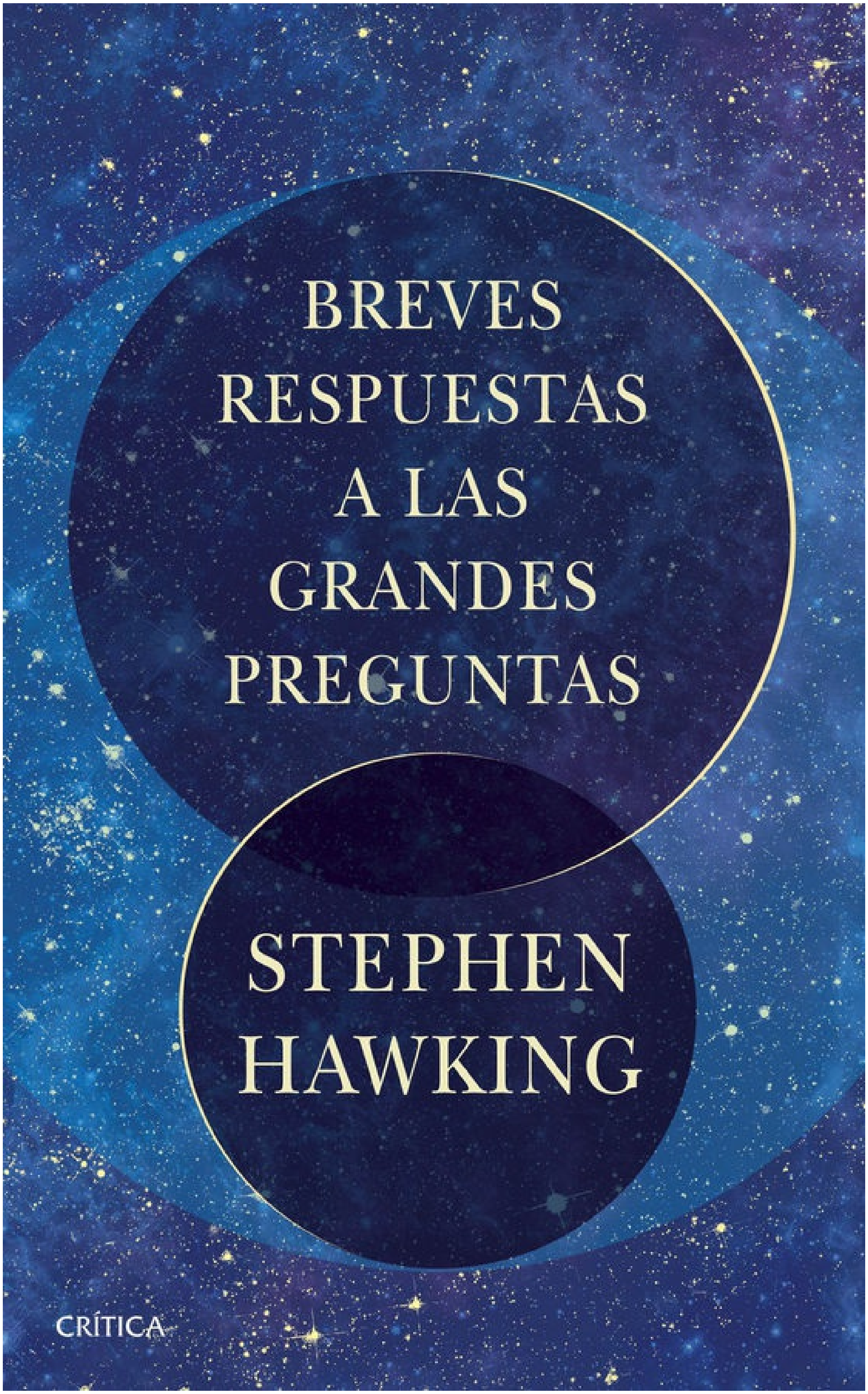
www.ed-critica.es
www.planetadelibros.com

Un porcentaje de las regalías será destinado a fines benéficos

Primera edición en libro electrónico (epub): noviembre de 2018

ISBN: 978-84-9199-058-1 (epub)

Conversión a libro electrónico: El Taller del Llibre, S. L.
www.eltallerdelllibre.com


BREVES
RESPUESTAS
A LAS
GRANDES
PREGUNTAS
STEPHEN
HAWKING
CRÍTICA